

**Estudio de Factibilidad para el Aumento de la Capacidad de una Terminal de
Almacenamiento de Hidrocarburos**

Jorge Rodrigo Amariles Rondón

Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios – ECACEN

Especialización en Gestión de Proyectos

Zona Centro Bogotá - Cundinamarca

2021

**Estudio de Factibilidad para el Aumento de la Capacidad de una Terminal de
Almacenamiento de Hidrocarburos**

Jorge Rodrigo Amariles Rondón

Director

Ingeniero Jairo Orlando Dueñas

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para optar al título de Especialista en Gestión
de Proyectos

Universidad Nacional Abierta y A Distancia – UNAD

Escuela de Ciencias Administrativas, Contables, Económicas y de Negocios – ECACEN

Especialización en Gestión de Proyectos

Zona Centro Bogotá - Cundinamarca

2021

Resumen

Actualmente el producto de exportación que genera mayores ingresos a Colombia es el petróleo, y según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), al incrementarse la producción se requerirá ampliar las capacidades para su extracción y almacenamiento.

El almacenamiento de hidrocarburos en Terminales se realiza en un área industrial ubicada en un puerto fluvial o marítimo, donde se reciben crudos provenientes de los campos de producción, o importados que llegan en buques-tanque, cuenta además con líneas para enviar crudos o derivados a plantas de refinación y facilidades para exportación conectadas con boyas ubicadas en el río o el mar.

En el presente proyecto se analizará la situación de una Terminal de almacenamiento de hidrocarburos ubicada en la costa Atlántica del país, que presenta problemas de funcionamiento ocasionados por la baja capacidad de almacenamiento del 60% de los tanques que posee, sumado a que éstos presentan baja confiabilidad en su funcionamiento por tener tiempo de uso mayor a 50 años.

Se realizará un estudio de factibilidad, evaluando aspectos relevantes del sector y del mercado, así como los requerimientos técnicos, legales, organizacionales y financieros fundamentales para el montaje de un modelo de negocio que permita solucionar los problemas de confiabilidad y ampliar la capacidad de almacenamiento en la Terminal.

Palabras clave: Hidrocarburos, almacenamiento, tanques, confiabilidad, capacidad.

Abstract

Currently, the export product that generates the highest income to Colombia is oil, and according to the National Hydrocarbons Agency (ANH), increasing production will require expanding capacities for extraction and storage.

The storage of hydrocarbons in Terminals is carried out in an industrial area located in a river or sea port, where crude oil is received from the production fields, or imported arriving in tankers, it also has lines to send crude or derivatives to refining plants and export facilities connected with buoys located in the river or the sea.

This project will analyze the situation of a hydrocarbon storage terminal located on the Atlantic coast of the country, which presents operational problems caused by the low storage capacity of 60% of the tanks it has, together with the fact that they have low reliability in its operation for having a usage time of more than 50 years.

A feasibility study will be carried out, evaluating relevant aspects of the sector and the market, as well as the fundamental technical, legal, organizational and financial requirements for the assembly of a business model that allows to solve the reliability problems and expand the storage capacity in the terminal.

Keywords: Hydrocarbons, storage, tanks, reliability, capacity.

Tabla de Contenido

Introducción	12
Formulación del problema técnico	14
Antecedentes y descripción del problema	14
Localización del proyecto	14
Sponsor del proyecto	15
Stakeholders del proyecto	15
Posibles modalidades de solución	16
Construcción de tanques en zona aledaña a la Terminal	16
Ampliación de capacidad en tanques existentes.	16
Construcción de tanques dentro del área de la Terminal.	17
Restricciones y constricciones	18
Formulación del problema	20
Justificación.....	21
Objetivos	23
Objetivo general	23
Objetivos específicos.....	23

Marco referencial	24
Marco Conceptual	24
Marco teórico	26
Producción de petróleo.....	26
Almacenamiento de hidrocarburos y derivados en Terminales	27
Exportación e importación de hidrocarburos por Terminales marítimas	30
Desarrollo del proyecto aplicado.....	31
Fase de inicio.....	31
Acta de constitución del proyecto.	31
Fase de planificación.....	35
Definición del alcance	35
Desglose de trabajo	36
Fase de ejecución	36
Diagnóstico situacional	36
Estudio de mercado	41
Recopilación de información	41
Población.....	41

Dimensionamiento de la demanda	41
Dimensionamiento de la oferta	44
Precios	45
Punto de equilibrio oferta-demanda	45
Estudio técnico de alternativas	47
Desarrollo técnico de alternativas	51
Bases de diseño	52
Láminas del cuerpo	54
Fondo del tanque	58
Anillo anular del fondo	59
Techo flotante.....	62
Base de los tanques	64
Selección tanque.....	66
Aspectos ambientales y legales	68
Aspectos ambientales	68
Aspectos legales	70
Estructura de costos.....	70

Evaluación de factibilidad económica.....	71
Valor Presente Neto	74
Tasa Interna de Retorno	75
Relación beneficio-costo	75
Conclusiones	77
Recomendaciones.....	78
Lista de referencias.....	80
Anexos.....	82

Lista de tablas

Tabla 1. Comparación de modalidades de solución.	18
Tabla 2. Aplicación de restricciones.	19
Tabla 3. Características de productos almacenados.	38
Tabla 4. Consumo proyectado de combustibles.	43
Tabla 5. Proyección almacenamiento en la Terminal.	44
Tabla 6. Oferta de almacenamiento.	44
Tabla 7. Opciones tanques Terminal San Bernardo.	49
Tabla 8. Evaluación de alternativas tanques.	51
Tabla 9. Características del sitio.	53
Tabla 10. Datos para calcular espesor de láminas.	54
Tabla 11. Espesor de láminas para anillos.	56
Tabla 12. Cantidad de láminas para cuerpo tanques.	58
Tabla 13. Área y peso fondo.	59
Tabla 14. Área y peso anillo anular tanques.	62
Tabla 15. Materiales y peso del techo flotante.	64
Tabla 16. Datos constructivos bases de concreto.	66
Tabla 17. Peso de los tanques.	67

Tabla 18. Costos de construcción tanques.	71
Tabla 19. Inflación promedio anual en Colombia.	73
Tabla 20. Ingresos anuales proyectados.	73

Lista de figuras

Figura 1. Ubicación Terminal San Bernardo.	15
Figura 2. Acta de constitución del proyecto.	31
Figura 3. Desglose de trabajo.	36
Figura 4. Distribución tanques en la Terminal.	37
Figura 5. Diagrama de bloques proceso Terminal.	39
Figura 6. Proyección de almacenamiento con capacidad instalada.	46
Figura 7. Proyección de almacenamiento con capacidad ampliada.	47
Figura 8. Sello de techo flotante externo.	63
Figura 9. Forma constructiva base de concreto.	65
Figura 10. Diagrama de flujo financiero del proyecto.	74

Introducción

Actualmente el producto de exportación que genera mayores ingresos a Colombia es el petróleo (llamado también crudo o hidrocarburo), y según la Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH), en el país se han venido incrementando de forma constante la exportación de crudos y el consumo de refinados (gasolina, ACPM, aceites, etc.). Adicionalmente, desde el año 2018 se han incrementado los precios internacionales para compra del petróleo. Estos factores impulsan a las empresas petroleras a ejecutar proyectos que generen valores al negocio y permitan establecer relaciones con aliados estratégicos, de manera que se maximicen hasta el largo plazo los beneficios conjuntos entre los involucrados.

El incremento en la producción de refinados requerirá ampliar las capacidades en las diferentes fases productivas del crudo; extracción, transporte, almacenamiento y refinación.

La fase particular de almacenamiento de hidrocarburos consiste en depositar los fluidos en tanques de acero de gran tamaño, existentes en zonas especiales llamadas Terminales de almacenamiento. Las Terminales reciben hidrocarburos producidos en el país o importados desde otros países. Estas instalaciones se componen de un espacio generalmente ubicado en un sitio a orillas o cercanías del río o el mar, donde se encuentran los tanques para recibo de hidrocarburos y derivados, con sistemas asociados para su medición y bombas para su trasiego. Los productos almacenados luego son vendidos como crudos exportados (clientes externos) o enviados a las refinerías para obtener sub-productos refinados (clientes internos).

Para cumplir su función en la cadena de valor de producción de petróleo, se requiere que el almacenamiento de hidrocarburos deba hacerse bajo los parámetros de seguridad operativa y cumpliendo la capacidad necesaria conforme a los volúmenes que se producen, para garantizar su despacho en calidad y cantidad a los clientes. Lo anterior exige que los tanques y demás sistemas

asociados existentes en las Terminales de almacenamiento, presenten la capacidad, confiabilidad y disponibilidad necesarias para cumplir los programas de recepción y envío de hidrocarburos y sus derivados.

En el presente documento se realizará un estudio de factibilidad para aumentar la capacidad de los tanques de una Terminal de almacenamiento de crudos, teniendo como base el aumento en la demanda interna, y la oportunidad de negocio para importar crudos que serán refinados en el país.

Formulación del problema técnico

Antecedentes y descripción del problema

En el presente proyecto se evaluará el caso de una Terminal marítima que almacena hidrocarburos de origen nacional e importado. El 50% de los crudos nacionales almacenados se exporta, y el 50% restante se mezcla con los crudos importados para ser enviados a refinería. Se tienen proyecciones de aumento en éstos volúmenes por incremento en el consumo interno de refinados.

La Terminal tiene instalados 4 tanques de acero con capacidad unitaria de 400 Kbbl y 6 tanques de acero con capacidad unitaria de 100 Kbbl. Los tanques de 100 Kbbl no se pueden utilizar continuamente por presentar problemas de integridad y fugas de producto debido a que tienen un tiempo de uso mayor a 50 años. Lo anterior genera costos por trabajos continuos de mantenimiento de los tanques, y la necesidad de pagar arrendamiento de tanques a terceros para poder almacenar los crudos que llegan a la Terminal.

Localización del proyecto

La Terminal de almacenamiento está ubicada en el municipio de Tolú (Sucre), sobre la zona occidental de la costa Caribe Colombiana, y se denomina Terminal San Bernardo. Ver la figura 1.

Figura 1*Ubicación terminal San Bernardo*

Fuente: El autor.

Sponsor del proyecto

- Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)

Stakeholders del proyecto

- Empresa operadora de la Terminal San Bernardo
- Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)
- Ministerio de Minas y Energía
- Empresa de energía de Sucre
- Comunidades residentes alrededor de la Terminal San Bernardo
- Alcaldía de Tolú

- Gobernación de Sucre
- Empresas de buques-tanque transportadoras de crudo

Posibles modalidades de solución

Construcción de tanques en zona aledaña a la Terminal.

Teniendo en cuenta la nueva capacidad a instalar, se requeriría un área de 2 hectáreas para construir los tanques. Esta opción es viable, pero se deberían adquirir los terrenos a una distancia aproximada de 3 Km de la Terminal, porque las zonas industriales adyacentes a la terminal ya están ocupadas por tanques de otras empresas exportadoras.

El ubicar los tanques a tanta distancia origina inconvenientes por el POT (Plan de Ordenamiento Territorial) vigente para el uso del suelo, genera una consulta previa con las comunidades que existen alrededor de la zona industrial y requiere modificación del PMA (Plan de Manejo Ambiental) de la Terminal. Adicionalmente, la longitud de tuberías de interconexión y múltiples de válvulas aumenta el costo del proyecto, dificultándose el flujo de los crudos pesados que se manejarán, con lo cual se aumenta el costo energético en los sistemas de bombeo.

Ampliación de capacidad en tanques existentes.

En éste caso se debería adicionar anillos a los cuatro tanques de 400 Kbbl existentes, aumentando 50% su capacidad original, hasta llegar a 600 Kbbl. Técnicamente es difícil y presenta problemas de seguridad el realizar una modificación de éste tipo a un tanque, sumado a que actualmente se tienen limitaciones por capacidad de almacenamiento, y sería necesario sacar de servicio cada tanque intervenido, requiriendo pagar arrendamiento de tanques en otra terminal, e incrementando los problemas operativos de la Terminal.

Esta opción tiene la ventaja de generar mayor cabeza de succión a las bombas, pero sería necesario cambiar todas las tuberías de los tanques intervenidos, de acuerdo con la nueva capacidad a manejar.

Construcción de tanques dentro del área de la Terminal.

Para ésta opción se deberán reemplazar directamente los tanques en mal estado, y en el mismo recinto construir los tanques nuevos. Involucra la operación de desmantelamiento de tanques existentes en mal estado, pero el intervenir directamente los tanques que presentan problemas no afecta la capacidad de almacenamiento de la Terminal.

Para definir los tanques a reemplazar y el orden de reemplazo, se deberá tomar en cuenta las estadísticas de mantenimiento y disponibilidad reportadas por la empresa operadora de los tanques.

Al construir los tanques nuevos en los recintos existentes, se integrarán las líneas de tubería a los múltiples de válvulas existentes, y no se tendrá mayor afectación en cuanto a cabeza disponible para el sistema de bombeo.

En la tabla 1 se observa la comparación de las modalidades de solución propuestas.

Tabla 1*Comparación de modalidades de solución*

Comparación de modalidades de solución							
Criterio	Peso (%)	Construcción en zona aledaña a la Ampliación de capacidad en tanques		Construcción en área dentro de la Terminal			
		Cumplimiento	Ponderación	Cumplimiento	Ponderación	Cumplimiento	Ponderación
Adquisición de activos	15	-Compra de terreno -Compra de bombas	0,15	No se adquieren activos	0,6	No se adquieren activos	0,6
Adecuaciones requeridas en sitio	15	-Mejoramiento de suelos en toda el área -Enmallado del área -Obras civiles para oficinas y áreas operativas -Construcción de diques	0,15	-Modificación de diques -Mejoramiento de suelos alrededor de los tanques	0,6	-Modificación de diques -Mejoramiento de suelos en la base de los tanques	0,6
Tiempo requerido por trámites previos	20	Un año por licencia ambiental, modificación POT y consultas previas con comunidades	0,2	Tres meses por modificación de licencia ambiental	0,8	Tres meses por modificación de licencia ambiental	0,8
Tiempo y costos estimados para ejecución	20	-Ocho meses en obras civiles y 18 meses en tanques -Mayor gasto en obras civiles -Mayor gasto en obras de tanques	0,4	-Seis meses en obras civiles y 24 meses en tanques -Gasto intermedio en obras civiles -Menor gasto en obras de tanques	1	-Tres meses en obras civiles y 18 meses en tanques -Menor gasto en obras civiles -Mayor gasto en obras de tanques	0,6
Riesgos operativos y técnicos	30	No se presentan	1,5	-Riesgos de HSE por manipulación de secciones completas del cuerpo de los tanques -No disponibilidad de almacenamiento en el tanque intervenido -Modificación de tanques estando la Terminal en operación -Mayor riesgo de colapso por viento y sismo de los tanques modificados	0,6	Construcción de los tanques estando la Terminal en operación.	1,2
Acumulado			2,4		3,6		3,8

Fuente: El Autor

Restricciones y constricciones

Se presentan las siguientes restricciones y constricciones;

- Los tanques de mezclar crudos para refinería solo pueden recibir un crudo a la vez, por la disponibilidad de un solo tanque dedicado de almacenamiento. Para liquidar los

volúmenes de los cuatro tipos de crudo a mezclar, se debe enviar al tanque de a un crudo a la vez.

- En ocasiones por falta de disponibilidad de tanques se deben recibir los crudos de oleoducto directamente en el tanque de mezclado, sin dejarlos reposar para controlar el porcentaje de agua (BSW).
- Cuando sale un tanque de servicio por mantenimiento, se debe pagar servicio de almacenamiento en tanques de un tercero.
- La descarga de crudos importados desde buques-tanque con capacidad mayor a 500 Kbbl tiene prioridad, y cuando se hacen mantenimientos en el sistema de bombeo de la terminal se limita el recibo de crudos nacionales por no tener tanque disponible.

En la tabla 2 se observan los resultados de aplicación de restricciones a las opciones de solución planteadas.

Tabla 2

Aplicación de restricciones

Aplicación de restricciones a modalidades de solución			
Restricción	Construcción en zona aledaña a la Terminal	Ampliación de capacidad en tanques existentes	Construcción en área dentro de la Terminal
	Cumplimiento	Cumplimiento	Cumplimiento
Mezcla de crudos para refinería	No se afecta durante la construcción.	Se genera mayor inconveniente operativo al sacar tanques de servicio para intervenirlos	No se afecta durante la construcción.
Control de BSW en tanque	No se afecta durante la construcción.	No se afecta durante la construcción.	No se afecta durante la construcción.
Pago de arrendamiento de tanques	No se afecta durante la construcción.	Se debe pagar arrendamiento por tanque adicional al sacar tanques de servicio para intervenirlos	No se afecta durante la construcción.
Disponibilidad de tanques para importados	No se afecta durante la construcción.	Se debe pagar arrendamiento por tanque adicional al sacar tanques de servicio para intervenirlos	No se afecta durante la construcción.

Fuente: El Autor

Formulación del problema

Teniendo en cuenta el aumento que actualmente se presenta en el precio del petróleo y la proyección de aumento del consumo de refinados en el país, el propietario de la Terminal plantea aumentar la capacidad de almacenamiento hasta en un millón (1.000.000) de barriles, con el objetivo de aprovechar oportunidades de negocio en exportación de crudos y aumento de producción de sub-productos en refinería utilizando crudos importados.

De acuerdo con lo expuesto, se plantea la siguiente pregunta:

¿Cuál es la mejor alternativa para aumentar la capacidad de almacenamiento de los tanques en la Terminal San Bernardo?

Según los datos ilustrados en las tabla 1 y 2, se considera viable la alternativa *Construcción de tanques dentro del área de la Terminal*.

Justificación

La Terminal de almacenamiento objeto del presente proyecto, cuenta actualmente con 6 tanques que tienen capacidad unitaria nominal de 100 Kbbl, y llevan más de 50 años de servicio, por lo cual presentan daños estructurales que afectan su integridad, y no ofrecen confiabilidad de funcionamiento, generando sobrecostos por gastos de mantenimiento, y las continuas salidas de servicio obligan a pagar servicio de almacenamiento en tanques de terceros.

A la Terminal llegan crudos desde diferentes líneas provenientes del interior del país, de igual manera cuenta con facilidades para transportar crudos por líneas de importación y exportación por buques-tanque, utilizando dos boyas ubicadas en el mar. Además de la operación de almacenamiento, en la Terminal se realiza la mezcla de crudos para componer la dieta y enviarla a refinería.

Se presentan restricciones operativas en la Terminal de almacenamiento por falta de disponibilidad de tanques, y no se cuenta con un tanque para usar de reemplazo cuando se realizan labores de mantenimiento mayor a alguno de los tanques existentes.

En la actualidad se viene presentando aumento en el consumo interno de refinados y en la demanda de crudos pesados para exportación, adicionalmente aumentan los precios internacionales del crudo. Por lo anterior, la empresa propietaria de la Terminal ha visualizado una oportunidad de negocio, exportando mayores volúmenes de crudos pesados e importando más crudos livianos que se utilizarán para mezclarlos e incrementar la producción de sub-productos en refinería.

La situación actual y proyecciones propuestas, hacen necesario estructurar un proyecto para diseñar las facilidades operativas que permitan aumentar hasta en un millón (1.000.000) de

barriles la capacidad de almacenamiento en la Terminal. Construyendo tanques con mayor capacidad de almacenamiento en reemplazo de tanques existentes que se encuentran en malas condiciones, se aprovecha la oportunidad de negocio y aumenta la confiabilidad a la operación.

De acuerdo con lo anteriormente expuesto, el presente proyecto propone reemplazar algunos tanques existentes en mal estado por unos de mayor tamaño, aumentando la capacidad de almacenamiento y eliminando además las condiciones de riesgo operativo por pérdida de integridad de éstos equipos. Adicionalmente se subsanará la condición de no contar con tanque de respaldo para realizar mantenimientos mayores, reasignando uno de los tanques para cumplir ésta función.

Objetivos

Objetivo general

Desarrollar un estudio de factibilidad para aumentar la capacidad en una Terminal de almacenamiento de hidrocarburos.

Objetivos específicos

Hacer diagnóstico situacional de la Terminal de almacenamiento.

Realizar estudio de mercados en el sector para definir la idea de negocio.

Realizar estudio técnico de la propuesta.

Verificar condiciones ambientales y legales que debe cumplir el proyecto.

Evaluar la viabilidad del proyecto mediante el estudio financiero.

Marco referencial

Marco Conceptual

- **API:** American Petroleum Institute. Entidad internacional que emite normas para la industria petrolera.
- **Barril:** Unidad de medida volumétrica utilizada en la industria petrolera. Equivale a 42 galones norteamericanos. Su símbolo es **bbl**. A nivel industrial, para grandes volúmenes de crudos se utiliza la unidad Kbbl, que representa 1000 barriles.
- **Boya petrolera:** Plataforma ubicada en el río o el mar, y anclada al fondo del lecho. Tiene facilidades para recibir y enviar crudos entre un buque-tanque y la Terminal de almacenamiento en tierra firme.
- **BSW:** Corresponde al contenido de agua libre (no disuelta) y sedimentos (limo, arena) que trae el crudo. Es importante que su valor sea bajo, para evitar suciedades y dificultades durante el procesamiento del crudo. Se reporta como porcentaje en volumen sobre el crudo.
- **Buque-tanque:** Buque diseñado específicamente para transporte de hidrocarburos o sus derivados. Tienen capacidad para transportar grandes volúmenes de producto, y su cargue se realiza desde la Terminal de almacenamiento a través de una tubería que va por el fondo del mar/río hasta una plataforma donde está anclado el buque.
- **Campo petrolero:** Zona donde se encuentran ubicados los pozos productores de petróleo, líneas de flujo y facilidades industriales básicas para tratamiento del crudo.
- **Crudo:** Producto obtenido de los pozos productores de petróleo. El crudo es un hidrocarburo que sale del pozo mezclado con agua y con gas, siendo separados sus componentes en las facilidades de producción.

- **Dieta:** Es la mezcla de diferentes porcentajes de crudos en un volumen homogéneo, el cual se envía a la refinería para obtener derivados. La dieta es definida por la refinería de acuerdo con los crudos disponibles, y tiene componentes de origen nacional e importado.
- **Estación de bombeo:** Instalación industrial donde se encuentran tanques de almacenamiento y bombas. Su función es impulsar el crudo a través de una línea de flujo para trasladarlo hacia estaciones de proceso o Terminales de exportación.
- **Facilidad de producción:** Zona industrial en un campo petrolero, donde se ubican los equipos para el proceso inicial del crudo. En éstas instalaciones se separan el agua y el gas del crudo. El crudo se almacena en tanques para ser enviado a una estación de bombeo, a refinería o a Terminales de exportación.
- **Línea de flujo:** Tubería circular fabricada en acero, que transporta crudo bombeado entre una facilidad de producción y un tanque de almacenamiento, o entre facilidades de producción y estaciones de re-bombeo.
- **Medidores de flujo:** Son instrumentos utilizados para medir volúmenes que fluyen por una tubería. En la industria petrolera principalmente se utilizan tres tipos de tecnología: a) Tipo señales de ultrasonido sin contacto del fluido, b) Tipo másico de tubo vibratorio con contacto del fluido y c) Tipo desplazamiento positivo volumétrico con contacto del fluido.
- **Prueba hidrostática de tanques:** Es el procedimiento realizado a un tanque de almacenamiento, donde se llena con agua hasta el nivel máximo permitido o hasta un nivel específico definido para la prueba. Su finalidad es detectar posibles fugas de agua por las soldaduras del tanque.

- **Refinería:** Instalación para procesamiento de crudo, donde por medio de temperatura se obtienen los diferentes sub-productos; gasolina, kerosene, Diesel, aceites, etc.
- **Tanque de almacenamiento:** Recipiente fabricado en acero, generalmente con forma cilíndrica, que se utiliza para almacenar el crudo en las facilidades productivas, estaciones de bombeo, refinerías o terminales de exportación. Pueden ser del tipo vertical u horizontal.
- **Techo flotante:** Es un tipo de techo que se instala en tanques de almacenamiento de gran tamaño. Consiste en un panel de lámina que flota sobre la superficie del fluido y sube o baja dentro del tanque, de acuerdo con el nivel de fluido. Se denominan del tipo interno cuando el tanque posee un techo externo que lo cubre, tal como un domo geodésico de aluminio. Cuando no tienen domo se denominan del tipo flotante externo, y están en contacto con el medio ambiente.
- **Terminal de almacenamiento:** Área industrial generalmente ubicada en costas de ríos o del mar, donde se encuentran tanques de almacenamiento de crudos o derivados. Desde la Terminal se despachan crudos hacia refinería, o para exportación por buques-tanque, o se despachan derivados hacia diversos sitios del país.

Marco teórico

Producción de petróleo

El petróleo es un compuesto líquido que se forma de manera natural y que se encuentra en formaciones rocosas. Consiste en una mezcla de compuestos de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos y otros compuestos orgánicos.

La industria petrolera incluye procesos globales de exploración, extracción, refino, transporte (frecuentemente a través de buques petroleros y oleoductos) y mercadotecnia de productos del petróleo. Los productos de mayor volumen en la industria son combustibles como el Diesel y la gasolina. El petróleo es la materia prima de muchos productos químicos incluyendo productos farmacéuticos, disolventes, fertilizantes, pesticidas y plásticos.

La industria del petróleo se divide normalmente en tres fases:

- a) "Upstream": Exploración, extracción y producción
- b) "Midstream": Transporte, procesos y almacenamiento
- c) "Downstream": Refino, venta y distribución.

La calidad del petróleo crudo está determinada por un factor llamado grado API, que es una propiedad inherente al producto. Un API 10°-21,9° clasifica como crudo pesado, un API 22°-29,9° clasifica como crudo semi-pesado, y un API 30°- 40° clasifica como crudo liviano. Los crudos livianos tienen mayor valor en el mercado que los pesados, puesto que tienen mayor facilidad para ser procesados en refinería.

Almacenamiento de hidrocarburos y derivados en Terminales

Dentro de la cadena productiva del petróleo, las Terminales generalmente constituyen el último punto de almacenamiento de hidrocarburos y derivados que se van a exportar, o el primer punto de almacenamiento de hidrocarburos y derivados que se importan.

Las Terminales se ubican en costas de ríos o del mar, y se componen de áreas donde se encuentran los tanques de almacenamiento, tuberías de interconexión, sistema de bombeo, sistema de medición, laboratorio de calidad y sistema electrónico para control de la operación.

Los productos llegan a la Terminal directamente por líneas de flujo que vienen de los campos de producción, o desde un buque-tanque que trae productos importados al país. Los productos almacenados se pueden despachar hacia un buque-tanque si es crudo para exportación, o hacia una refinería si es crudo para obtener derivados que luego se consumirán en el país. En todos los casos los productos deben pasar por el control de medición y calidad.

Dentro de las operaciones de la Terminal, se realizan despachos de productos para exportación, trasiegos entre los tanques y se hacen mezclas en tanques asignados, que luego se envían para cumplir con la dieta de crudos de la refinería.

- a) Tanques de almacenamiento: En ellos se reciben los productos crudos o refinados. Por los grandes volúmenes manejados en las Terminales, los tanques son del tipo cilíndrico vertical apoyados en anillo de concreto, y en las Terminales generalmente tienen capacidades unitarias entre 200 Kbbl y 1.000 Kbbl. En la industria petrolera el diseño de los tanques de almacenamiento con presión atmosférica se realiza bajo la norma norteamericana API-650. Los tanques tienen válvulas que controlan el ingreso y salida de producto, y sistemas de medición que monitorean la cantidad de producto que se encuentra en su interior. El producto almacenado se deja reposar dentro del tanque un tiempo determinado, para que se asiente el agua, que es drenada por válvulas instaladas cerca del fondo del tanque. De ésta forma se cumple con la norma de calidad respecto del BSW antes de despacharlo.
- b) Tuberías de interconexión: Están compuestas por ductos de acero que transportan los fluidos entre los tanques, desde los tanques hacia el sistema de bombeo, y del sistema de bombeo al sistema de medición. Dentro del sistema se instalan válvulas para controlar el paso de los fluidos, y sensores de flujo y presión para indicar sus parámetros de

funcionamiento y establecer los controles necesarios. En la Terminal el alcance del sistema de tuberías llega hasta la salida de la medición, de allí en adelante el control lo tiene el propietario del oleoducto.

- c) Sistema de bombeo: Está compuesto por bombas tipo centrífuga o tipo tornillo, que se encargan de recibir el crudo desde los tanques de almacenamiento y enviarlo a través de líneas de tubería hacia la exportación o la refinería. También se utilizan para hacer trasiegos entre tanques y hacer las mezclas para refinería. Los buques-tanque tienen su propio sistema de bombeo para enviar los productos hacia los tanques de la Terminal.
- d) Sistema de medición: Tiene como función medir el flujo, verificando el volumen de producto que está llegando a los tanques de la Terminal o saliendo de los mismos como despacho a los clientes. Los medidores pueden ser del tipo ultrasónico, másico o volumétrico. El reporte de volúmenes se hace electrónicamente o vía inalámbrica al cuarto de operaciones.
- e) Laboratorio de calidad: Es el encargado de tomar muestras de los productos que entran y salen de la Terminal, verificando que cumplan los parámetros físico-químicos con los cuales fueron negociados. Es encargado de autorizar los despachos de producto a los clientes.
- f) Sistema de control: Está conformado por instrumentos que miden las variables básicas del proceso; Nivel, Temperatura y Presión, comparándolas con parámetros pre-establecidos, reportando los resultados en pantallas del cuarto de operaciones de la Terminal. Si los parámetros se encuentran por fuera del rango, el sistema de control da señal de alarma y ejecuta una acción programada, por ejemplo detiene las bombas o cierra válvulas del tanque.

Exportación e importación de hidrocarburos por Terminales marítimas

En las operaciones de exportación, se envía el producto a través de tuberías desde los tanques de almacenamiento en tierra firme hasta las boyas donde se encuentran anclados los buques-tanque.

En las operaciones de importación se envía el producto por las mismas tuberías desde los buques-tanque hasta los tanques de almacenamiento en la Terminal.

Las boyas son plataformas flotantes sujetas al fondo del mar, y generalmente tienen los siguientes equipos operativos;

- a) Bombas accionadas por motores de combustión
- b) Unidad para medición de flujo
- c) Sistema de control operativo
- d) Sistema de amarre de buques
- e) Mangueras para trasiego de crudos

Desarrollo del proyecto aplicado

Fase de inicio

Acta de constitución del proyecto.

Figura 2

Acta de constitución del proyecto

DATOS GENERALES DEL PROYECTO	
Nombre del proyecto	Estudio de factibilidad para el aumento de la capacidad de una Terminal de almacenamiento de hidrocarburos.
Patrocinador	Agencia Nacional de Hidrocarburos – ANH
Preparado por	Equipo de proyecto
Aprobado por	Jairo Orlando Dueñas
Fecha de aprobación del proyecto	Septiembre 24 del 2019
Fase actual	I – Conceptual
JUSTIFICACIÓN	
<p>La Terminal de almacenamiento San Bernardo ubicada en Tolú (Sucre) cuenta actualmente con 6 tanques que tienen capacidad unitaria nominal de 100 Kbbl, y llevan más de 50 años de servicio, por lo cual presentan daños estructurales que afectan su integridad, y no ofrecen confiabilidad de funcionamiento, lo que origina disminución en la capacidad de almacenamiento y sobrecostos por gastos de mantenimiento. Adicionalmente, las continuas salidas de servicio de estos tanques obligan a pagar servicio de almacenamiento en tanques de terceros. Por otra parte, no se cuenta con disponibilidad de un tanque para usar de reemplazo cuando se realizan labores de mantenimiento mayor a algún tanque de los existentes.</p>	

DESCRIPCIÓN
Se realizará el estudio de factibilidad técnico – económica para aumentar la capacidad del sistema de almacenamiento de crudos existente en la Terminal San Bernardo, cambiando tanques existentes de 100 Kbbl en mal estado por tanques nuevos con mayor capacidad unitaria.

Para el estudio se tendrán en cuenta las siguientes variables:

- Facilidad operativa
- Costos de construcción, operación y mantenimiento
- Cumplimiento de requisitos legales y ambientales
- Retorno de la inversión

OBJETIVO GENERAL

- Desarrollar un estudio de factibilidad para aumentar la capacidad en una Terminal de almacenamiento de hidrocarburos.

OBJETIVOS DEL PROYECTO

- Hacer diagnóstico situacional de la Terminal de almacenamiento.
- Realizar estudio de mercados en el sector para definir la idea de negocio.
- Realizar estudio técnico de la propuesta.
- Verificar condiciones ambientales y legales que debe cumplir el proyecto.
- Evaluar la viabilidad del proyecto mediante el estudio financiero.

REQUERIMIENTOS DE ALTO NIVEL

- Conocimiento de los procesos productivos en la industria petrolera
- Estrategias para selección de alternativas
- Verificación de requerimientos legales y ambientales
- Correcta estructuración de costos constructivos

ALCANCE

Realizar el estudio de factibilidad para aumentar hasta en un millón (1.000.000) de barriles la capacidad de almacenamiento en la Terminal San Bernardo.

FASE I	
Descripción	Entregables
Formulación del problema	Formulación del problema, Justificación. Objetivos, Marco referencial.
FASE II	
Descripción	Entregables
Inicio	Acta de constitución del proyecto

FASE III	
Descripción	Entregables
Planificación	Definición del alcance, Desglose de trabajo.
FASE IV	
Descripción	Entregables
Ejecución	Diagnóstico situacional, Estudio de mercado, Estudio conceptual de alternativas, Desarrollo técnico de alternativa, Aspectos ambientales y legales, Estructura de costos, Evaluación de factibilidad económica.
FASE V	
Descripción	Entregables
Cierre	Conclusiones, Recomendaciones.
FACTORES CRÍTICOS DE ÉXITO	
<ul style="list-style-type: none"> - Seleccionar acertadamente los tanques a reemplazar. - Realizar la selección de alternativas de los nuevos tanques sin afectar la operación de la Terminal. - Obtener la viabilidad financiera del proyecto. 	
RESTRICCIONES	
<ul style="list-style-type: none"> - Para las alternativas de diseño los tanques nuevos reemplazarán a los de 100 Kbbl que sean desmantelados y se ubicarán en los mismos recintos. - Las producciones y costos por barril de crudo serán los reportados por la ANH o su representante. - Los cálculos económicos se harán con una vida útil para 10 años de servicio. 	

RIESGOS								
<ul style="list-style-type: none"> - No tener todos los datos para realizar el estudio de factibilidad. - Tener fallas en el estudio que lleven al sponsor a errores por realizar o no realizar inversiones. - Cambios drásticos en precios o producción del crudo que afecten el estudio de factibilidad. 								
LISTA DE INTERESADOS								
<table border="1"> <tr> <th>Interesados internos</th> </tr> <tr> <td>Empresa operadora Terminal San Bernardo</td> </tr> <tr> <td>Empresas de buques-tanque transportadoras de crudo</td> </tr> <tr> <td>Comunidades residentes alrededor de la terminal San Bernardo</td> </tr> <tr> <td>Alcaldía de Tolú</td> </tr> <tr> <td>Gobernación de Sucre</td> </tr> <tr> <td>Empresa de energía de Sucre</td> </tr> </table>		Interesados internos	Empresa operadora Terminal San Bernardo	Empresas de buques-tanque transportadoras de crudo	Comunidades residentes alrededor de la terminal San Bernardo	Alcaldía de Tolú	Gobernación de Sucre	Empresa de energía de Sucre
Interesados internos								
Empresa operadora Terminal San Bernardo								
Empresas de buques-tanque transportadoras de crudo								
Comunidades residentes alrededor de la terminal San Bernardo								
Alcaldía de Tolú								
Gobernación de Sucre								
Empresa de energía de Sucre								
<table border="1"> <tr> <th>Interesados externos</th> </tr> <tr> <td>Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)</td> </tr> <tr> <td>Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)</td> </tr> <tr> <td>Ministerio de Minas y Energía</td> </tr> </table>		Interesados externos	Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)	Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)	Ministerio de Minas y Energía			
Interesados externos								
Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH)								
Agencia Nacional de Licencias Ambientales (ANLA)								
Ministerio de Minas y Energía								
Elaborado por:	Aprobado por:							
Jorge Rodrigo Amariles Rondón	Jairo Orlando Dueñas							

Fuente: El autor.

Fase de planificación

Definición del alcance

En el presente documento se realizará un estudio para definir la factibilidad de ampliar la capacidad en una Terminal de almacenamiento de petróleo crudo y sus derivados.

La Terminal de almacenamiento presenta problemas operativos por la falta de confiabilidad de algunos de los tanques instalados, que debido a su largo tiempo de uso tienen fugas de producto y esto limita la capacidad de almacenamiento. Por lo anterior, y teniendo en cuenta la proyecciones de producción y exportación de crudos pesados del país, y el consumo de combustibles, se propone reemplazar algunos de los tanques en mal estado por otros de mayor capacidad, y así aumentar la capacidad total de almacenamiento en la Terminal.

Dentro del desarrollo del estudio se cumplirá el alcance de las siguientes actividades;

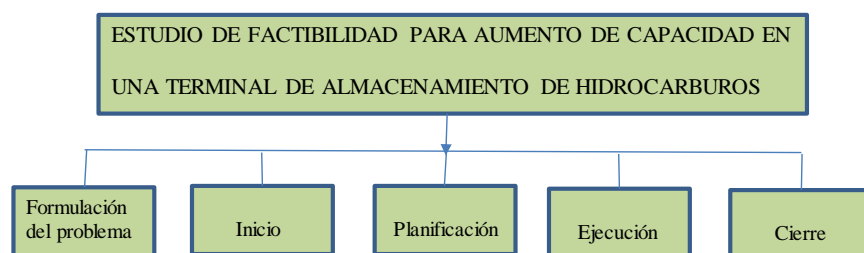
- Analizar la situación actual de la Terminal.
- Verificación de estadísticas de producción y exportación de crudos y derivados.
- Estudio de mercado para comprobar el caso de negocio propuesto.
- Análisis y selección de alternativas para construcción de los tanques.
- Estudio técnico de la alternativa seleccionada.
- Estructurar los costos de la alternativa seleccionada.
- Realizar la evaluación económica para verificar la viabilidad del proyecto.

Desglose de trabajo

El proyecto será desarrollado en cinco fases según se ilustra en la figura 3.

Figura 3

Desglose de trabajo



Fuente: El autor.

Fase de ejecución

Diagnóstico situacional

Actualmente, la Terminal de almacenamiento San Bernardo tiene disponibles diez tanques para almacenamiento de hidrocarburos, distribuidos según se indica en la figura 4.

Figura 4

Distribución tanques en la Terminal



Fuente: Google Earth

Los tanques número 1, 2, 3, 4, 6 y 7 tienen capacidad unitaria de 100 Kbbl y presentan alto deterioro debido a su antigüedad, por lo cual no pueden utilizarse continuamente ni a su máxima capacidad porque presentan fugas de hidrocarburos, disminuyendo la capacidad de almacenamiento en la Terminal. Los tanques 5, 8, 9 y 10 tienen capacidad unitaria de 400 Kbbl y no presentan inconvenientes para su funcionamiento.

La distribución en tanques y características de los productos almacenados se observan en la tabla 3.

Tabla 3*Características de productos almacenados*

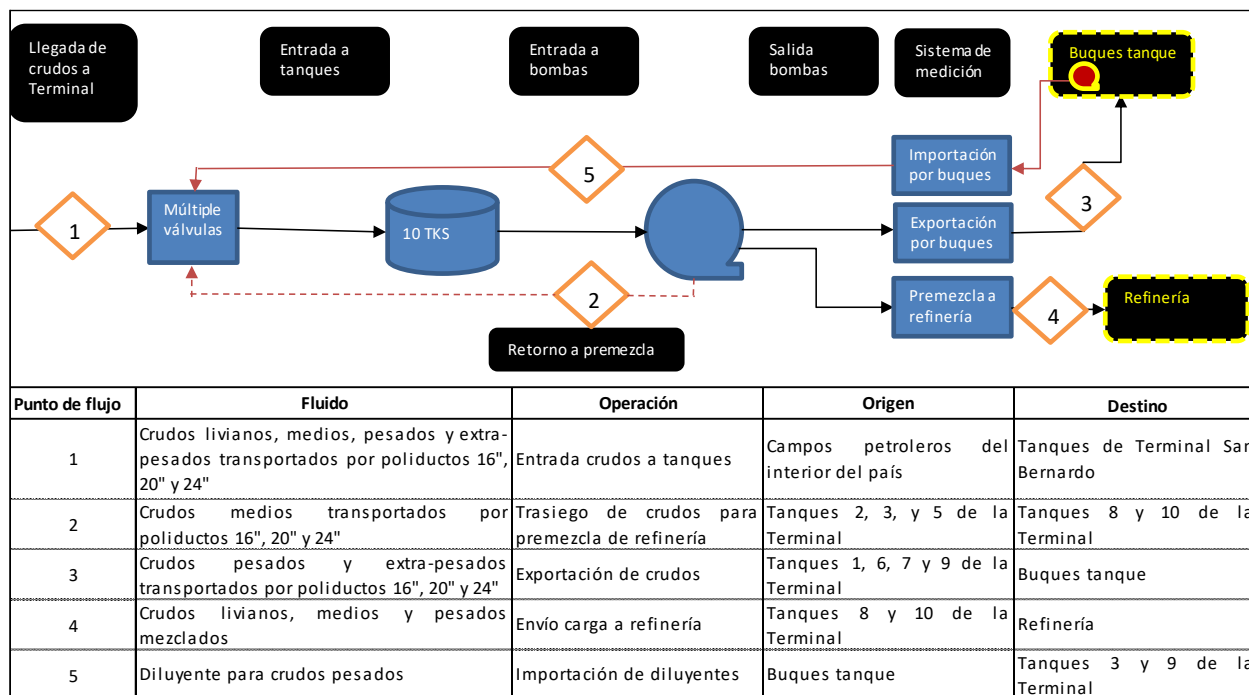
Tanque	Capacidad (Kbbl)	Producto	Tipo de producto	Grado API	Viscosidad (Cst)	Densidad relativa
1	100	Combustóleo	Crudo extra- pesado	7,2	350	1,015
2	100	Mezcla 1	Crudo pesado	12	214	0,932
3	100	CL Diluyente	Crudo liviano	33,6	18,7	0,857
4	100	Fuera de servicio por mantenimiento mayor	-	-	-	-
5	400	Crudo CA	Crudo pesado	19,3	300	0,985
6	100	Mezcla 3	Crudo pesado	18,9	176	0,922
7	100	Mezcla 3	Crudo pesado	18,9	176	0,922
8	400	Mezcla refinería	Crudo medio	27,5	50	0,895
9	400	Mezcla 4 / Diluyente	Crudo medio / liviano	24 / 36,8	31 / 16,3	0,911 / 0,837
10	400	Mezcla refinería	Crudo medio	27,5	50	0,895

Fuente: ANH.

Los crudos de la tabla anterior se definen de la siguiente forma;

- Crudos livianos: Son aquellos que tienen entre 30-40 grados API.
- Crudos semi-pesados o medios: Tienen entre 22–29 grados API.
- Crudos pesados: Tienen entre 10-21,9 grados API.
- Crudos extra-pesados: Tienen menos de 10 grados API.

En la figura 5 se observa el diagrama de bloques para el proceso realizado en la Terminal.

Figura 5*Diagrama de bloques proceso Terminal*

Fuente: El autor.

El proceso se divide en las siguientes etapas;

- 1) Llegada de crudos a la Terminal, los cuales proviene de dos fuentes;
 - Oleoductos desde centros de producción en el interior del país.
 - Importaciones por buques-tanque.
- 2) Almacenamiento de crudos en los tanques, según la asignación de la tabla 3.
- 3) Mezcla de crudos para componer la dieta de la refinería. Los crudos livianos parafínicos producidos en el país y los importados son utilizados como diluyentes en proporción del

30% para mejorar la viscosidad. Luego se hace el despacho de la mezcla por oleoducto hacia la refinería. La Terminal San Bernardo es la única de las existentes en el área que envía crudos a refinería, los demás operadores solamente despachan para exportación.

4) Despacho de crudos pesados hacia buques-tanque para exportación.

La Terminal San Bernardo almacena diariamente en promedio 110.000 bbl de crudos (14% de la producción total actual del país) que se exportarán por buques-tanque. La carga mínima de un buque-tanque es de 500.000 bbl y se deben tener almacenadas 2 cargas, o sea 1.000.000 de bbls que se despachan por la boya marina cada 9 días. Para esta operación se utilizan dos tanques de 400 Kbbl y dos tanques de 100 Kbbl. Uno de estos buques-tanque trae como carga 500.000 bbl de crudo liviano que será mezclado para enviar a refinería, el cual se almacena en dos tanques de 100 Kbbl y un tanque de 350 Kbbl que se debe arrendar de un tercero.

Por otra parte, almacena y mezcla diariamente 165.000 bbl de crudos (20% de la producción total actual del país), que se despachan a refinería, debiendo tener una reserva mínima de 825.000 bbl (5 días) de crudo mezclado. Para esta operación se utilizan dos tanques de 400 Kbbl y un tanque de 100 Kbbl.

Con cada carga procesada en la refinería además de ACPM, gasolina y Jet Fuel se producen otros derivados que se deben considerar en el volumen de crudo. Por lo anterior, se afecta el volumen necesario de crudo por un factor que relaciona el volumen total de crudo respecto de los sub-productos;

Volumen sub-productos = Volumen crudo * 0,87 (Reficar 2020)

Del total de crudos mezclados para producción de combustibles en Colombia, el 42% lo suministra la Terminal San Bernardo. (ANH 2020).

A todos los crudos almacenados se les deja un tiempo mínimo de estabilización de 8 horas en el tanque, para decantar el agua y cumplir con el factor BSW.

Estudio de mercado

Recopilación de información

La recopilación de información para el estudio de mercado se obtiene de fuentes secundarias, recopilando las estadísticas que llevan las entidades gubernamentales respecto de producción, exportación e importación de crudo y combustibles refinados.

Entre otros se tomarán datos de la Unidad de Planeación Minero Energética del Ministerio de Minas (UPME), Agencia Nacional de Hidrocarburos (ANH) y Ecopetrol con sus filiales.

Población

La población objetivo del proyecto son las empresas exportadoras, importadoras y refinadoras de crudos, que requieren capacidad de almacenamiento en tanques para sus productos. Estas empresas son los operadores de campos petroleros que tienen contratos con Ecopetrol para producción del crudo y su transporte a Terminales de despacho.

El área geográfica del mercado es la zona donde se ubica la Terminal San Bernardo, donde llega el crudo por oleoductos desde el interior del país, y por buques-tanque desde el exterior.

Dimensionamiento de la demanda

La demanda que se piensa cubrir está conformada por el almacenamiento de;

- Crudos para exportación.
- Crudos producidos en el país y crudos de importación que se mezclan y envían a refinería.

Debido a la pandemia del covid-19, los precios del crudo han bajado y por ello actualmente el país tiene una producción promedio de 780.000 bbl/día, de la cual el 50% se destina a producir combustibles y derivados en refinería, y el 50% se exporta. (UPME 2020). Se proyecta aumentar un poco la producción a medida que suban los precios de exportación y la demanda interna de combustibles, sosteniendo un promedio de 800.000 bbl/día, con la explotación de yacimientos no convencionales y en zonas marinas (ANH 2020).

Para el presente estudio, a partir de la demanda de combustibles en el país se harán las proyecciones de crudo nacional y crudo importado necesario para cumplir con los envíos desde la Terminal San Bernardo a la refinería. De igual forma, se hará la proyección de exportaciones de crudo.

Los volúmenes calculados representarán la capacidad de almacenamiento necesaria en la Terminal.

En las figuras 1, 2 y 3 de los anexos del presente trabajo se observan las proyecciones de consumo de combustibles realizada por la UPME en junio del 2020, las cuales se ajustaron por el efecto de la pandemia covid-19. Para todos los cálculos se tomarán los valores del escenario tendencial, representado por la línea de color amarillo de dichas gráficas.

Con base en los gráficos expuestos, se observa tendencia al aumento de consumo de ACPM y gasolina, y disminución de consumo del combustible de aviación (Jet Fuel). Se elabora la tabla 4 con cifras de consumo para 10 años que es la vida útil considerada para el proyecto.

Tabla 4*Consumo proyectado de combustibles*

Proyección consumo de combustibles Colombia (Kbbl/día)										
Combustible	Año									
	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
ACPM	175	177	179	186	190	191	193	197	200	205
Gasolina	165	163	164	165	168	170	173	177	180	182
Jet Fuel	30	31	31	32	32	32	33	34	34	35
Total combustibles	370	371	374	383	390	393	399	408	414	422
Crudo necesario para total combustibles (/0,87)	425	426	430	440	448	452	459	469	476	485
Crudo estimado de Terminal San Bernardo para combustibles (42%)	179	179	181	185	188	190	193	197	200	204

Fuente: El autor con datos de UPME (2020)

Con los datos de la tabla 4 y la proyección del Ministerio de Minas sobre la producción petrolera del país, se elabora la tabla 5 donde se muestran los volúmenes a almacenar en la Terminal San Bernardo para exportación, importación y refinería. Se aplica el porcentaje de 30% para dilución con importados, definido en el capítulo de *diagnóstico situacional* del presente trabajo.

Tabla 5.*Proyección almacenamiento en la Terminal*

Proyección almacenamiento de crudos Terminal San Bernardo (Kbbl/día)													
Concepto				Año									
				2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Producción total Colombia				813	826	851	815	803	792	756	748	712	698
Crudo nacional para refinería		para	Flujo (Kbbl/día)	179	179	181	185	188	190	193	197	200	204
			Volumen 5 días (Kbbl)	893	896	903	924	941	949	963	985	999	1019
Importación para refinería		para	Flujo (Kbbl/día)	54	54	54	55	56	57	58	59	60	61
			Volumen 9 días (Kbbl)	482	484	487	499	508	512	520	532	540	550
Crudo nacional para exportación		para	Flujo (Kbbl/día)	114	116	119	114	112	111	106	105	100	98
			Volumen (Kbbl)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Total crudos almacenar		a	Volumen (Kbbl)	2375	2379	2390	2424	2450	2461	2483	2517	2539	2569

Fuente: El autor con datos de Ministerio de Minas (octubre-2020)

Dimensionamiento de la oferta

La cantidad de tanques para almacenamiento disponibles en el área de la Terminal constituyen la base de la oferta.

En la tabla 6 se describe el almacenamiento total y disponible de los operadores que se encuentran en la zona de la Terminal San Bernardo.

Tabla 6*Oferta de almacenamiento*

Oferta de almacenamiento en zona de Terminal San Bernardo				
Capacidad (Kbbl)	Operador			
	San Bernardo	A	B	C
Total	2200	2710	1200	2000
Disponible para arrendar	-350	350	0	150

Fuente: ANH.

Precios

El precio a evaluar es la tarifa que cobra la empresa operadora por almacenar los productos en los tanques de la Terminal y despacharlos hacia el destino de consumo.

La tarifa de almacenamiento en tanques está relacionada con las características del producto, y para el presente estudio la empresa operadora define cobrar 0,011 USD-bbl-día. El valor objetivo del dólar para presupuestos es de \$3.200.

Punto de equilibrio oferta-demanda

De acuerdo con los datos hallados para la demanda y la oferta, se observa que actualmente no existe suficiente oferta (capacidad) para almacenar los crudos que ingresan a la Terminal San Bernardo, debiendo pagar arriendo en un tanque de 350 Kbbl del operador A. De igual forma, cuando se realiza mantenimiento mayor a alguno de los tanques existentes es necesario arrendar uno de los tanques de los otros operadores.

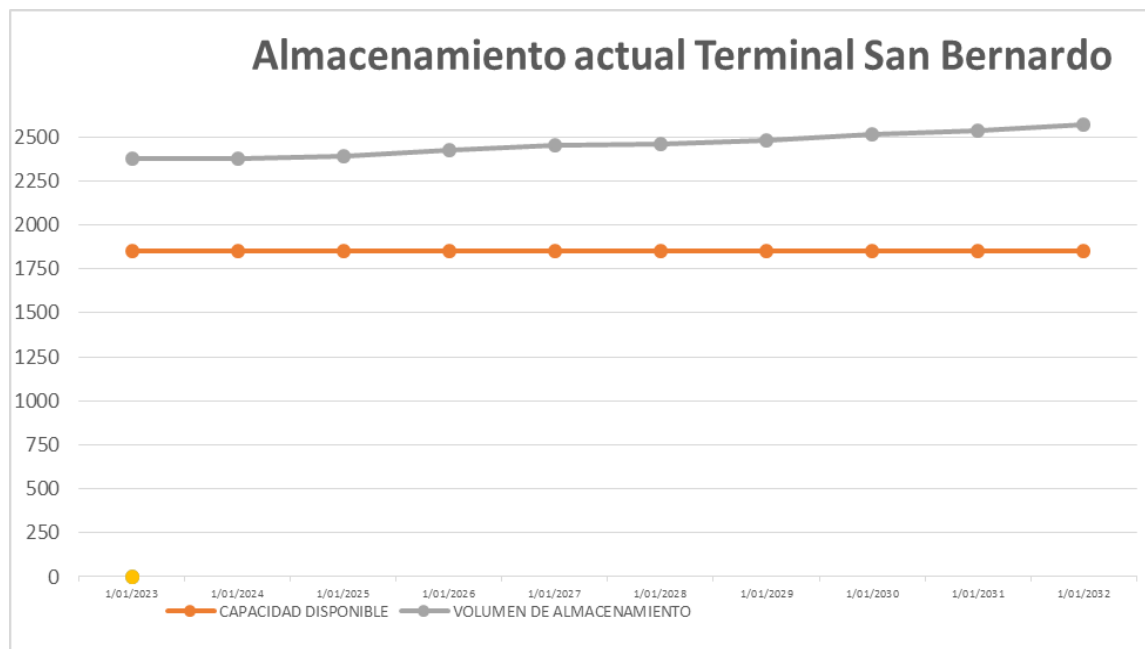
Entonces, la capacidad disponible de almacenamiento en la Terminal San Bernardo es de;

$$2.200 \text{ Kbbl} - 350 \text{ Kbbl} = 1.850 \text{ Kbbl}$$

Esta situación se volverá crítica a medida que se aumente la demanda interna de combustibles, como se ilustra en la figura 6.

Figura 6

Proyección de almacenamiento con capacidad instalada

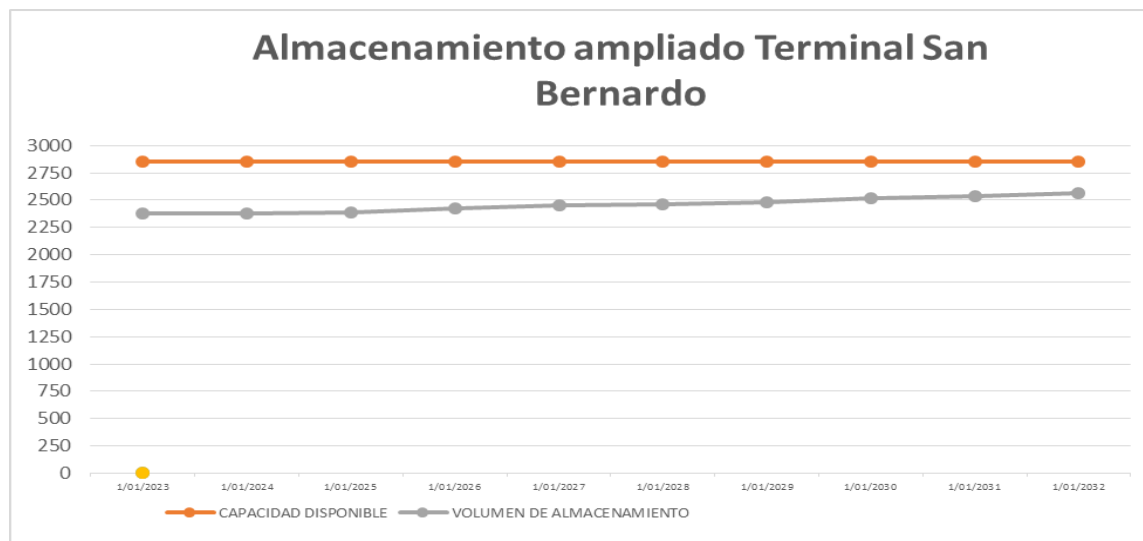


Fuente: El autor.

Por otra parte, con la ampliación de capacidad de almacenamiento en 1.000 Kbbbl, se cubrirá la demanda y no será necesario pagar por arriendo de tanques. Ver figura 7.

Figura 7

Proyección de almacenamiento con capacidad ampliada



Fuente: El autor.

De acuerdo con los datos expuestos, el proyecto de ampliación es una propuesta de negocio viable, apoyada en el aumento de demanda de combustibles en el país, y con la cual se van a obtener beneficios económicos con su ejecución, por cubrimiento de las necesidades de almacenamiento y ahorro en costos por arrendamiento de tanques a terceros.

Estudio técnico de alternativas

Según se definió en el capítulo 1, para cumplir con el incremento en el almacenamiento de 1.000.000 de barriles en la terminal, se construirán tanques que reemplacen a algunos de los existentes, teniendo en cuenta los siguientes parámetros;

- Se reemplazarán 2 tanques existentes de 100 Kbbl por tanques de mayor tamaño, de forma que se optimice el uso de los recintos existentes.

- Los 2 tanques a reemplazar se definirán según el reporte de confiabilidad que suministre el operador de la Terminal, para los 6 tanques de capacidad unitaria 100 Kbbl.
- Como los nuevos tanques se podrán utilizar para almacenar cualquier tipo de crudo, se tomará como base de diseño el producto más pesado, que es el combustóleo.
- El diseño conceptual de los tanques se hará con la norma API 650, con forma constructiva similar a los existentes de 400 Kbbl y techo flotante externo.
- Los recintos de los tanques existentes son de forma cuadrada y tienen medidas internas de 120 m x 120 m. Dentro de ellos se deben instalar los nuevos tanques, dejando un margen de seguridad igual o mayor a 10 m por cada lado entre el tanque y el muro del recinto.

Como se reemplazan dos tanques de 100 Kbbl, entonces se deberán construir dos tanques de 600 Kbbl cada uno, teniendo en cuenta que;

$$\text{Incremento neto} = 1.200 \text{ Kbbl} - 200 \text{ Kbbl} = 1.000 \text{ Kbbl} (1.000.000 \text{ bbl})$$

Con los parámetros establecidos se procede a calcular diferentes configuraciones de tanques, de forma que teniendo tamaño normalizado según API 650, con dos unidades se pueda incrementar 1.000.000 de barriles de almacenamiento. Las opciones constructivas para tanques con capacidad nominal de 600.000 bbls, seleccionadas de acuerdo con el apéndice K de la norma API 650, se observan en la tabla 7.

Tabla 7*Opciones tanques Terminal San Bernardo*

Opciones Tanques Terminal San Bernardo									
Opción	Capacidad Diseño (bbls)	Diámetro (m)	Número de Anillos	Altura Total (m)	Volumen Total (m3)	Volumen Total (bbl)	Altura Remanente (m) (*)	Altura Operativa (m)	Volumen Operativo (bbl)
A	600.000	100,0	6	14,4	113.098	711.384	2,00	12,40	612.581
B	600.000	90,0	7	16,8	106.877	672.258	2,00	14,80	592.227
C	600.000	85,0	8	19,2	108.951	685.300	2,00	17,20	613.914
D	600.000	80,0	9	21,0	105.558	663.958	2,00	19,00	600.724
(*) Por techo flotante									

Fuente: El autor con datos de Norma API 650.

Se construirán tanques con techo flotante externo similares a los existentes de 400 Kbbl. Por lo anterior, para cada opción se descuenta una longitud de 2 m a la altura en la parte superior del tanque, como espacio necesario para el techo cuando el tanque esté completamente lleno.

El número de anillos es la cantidad de láminas que tendrá el tanque en sentido vertical. Las láminas de acero de medidas comerciales para fabricar éste tipo de tanques tienen alturas de 1,8 m (6 pies) y 2,4 m (8 pies), ambas con longitud de 12 m (40 pies). Para las opciones A, B y C se toman todas las láminas de altura 2,4 m. Para la opción D se tienen 8 anillos de 2,4 m y el último es de 1,8 m.

Con estas opciones de tanques se elabora un cuadro de ponderación de características para seleccionar la mejor alternativa, teniendo en cuenta los siguientes criterios;

Volumen Operativo: Para evitar tener volumen inoperante durante su funcionamiento, el volumen del tanque diseñado deberá cumplir lo más exactamente con la capacidad definida de almacenamiento, es decir 600.000 bbls. Es aceptable una variación volumétrica del 2% por defecto o exceso. Este criterio se valorará con un peso del 25%.

Ubicación dentro del recinto: Con el objetivo de disponer del espacio operativo necesario en labores de mantenimiento, el tanque debe tener mínimo 10 m de distancia desde su perímetro externo hasta cualquier muro del dique. Entre más espacio quede disponible será mejor durante la operación del tanque. Este criterio se valorará con un peso del 25%.

Presión sobre la base: Teniendo en cuenta el terreno sobre el cual se construirán los nuevos tanques, se debe disminuir la fuerza por unidad de área sobre el fondo del tanque. Un tanque con diámetro reducido ocasionará mayores esfuerzos, y puede ser necesario realizar pilotajes. En un tanque de gran diámetro será necesario hacerle mejoramiento de terreno a un área mayor y aumentará la longitud del anillo perimetral. Este criterio se valorará con un peso del 20%.

Resistencia a cargas externas: La zona donde se ubicarán los tanques presenta alta velocidad de vientos y presencia de sismos, por lo tanto se debe evitar construir tanques muy esbeltos. Por norma práctica este tipo de tanques deberían tener una relación Altura/diámetro $< 0,25$. Este criterio se valorará con un peso del 20%.

Facilidad constructiva y de mantenimiento: Se refiere a la mayor o menor incidencia de la altura y el diámetro del tanque respecto a los trabajos necesarios para su construcción y posterior mantenimiento. Por ejemplo, un tanque muy alto presenta mayores riesgos de trabajos en altura para montaje y durante su operación, y un mayor espesor de lámina a soldar en los primeros anillos, que se traducen en mayor peso y tiempo constructivo. Por otra parte, un tanque de gran diámetro presenta menos riesgos de seguridad en la construcción y menor peso, pero tiende a incrementar costos de mantenimiento por el área tan grande del techo flotante. Este criterio se valorará con un peso del 10%.

La ponderación de los criterios se hará del 1 al 5, siendo el 1 en que menos cumple y el 5 el que mejor cumple. En la tabla 8 se pueden observar los resultados.

Tabla 8

Evaluación de alternativas tanques

Evaluación de alternativas tanques									
Criterio	Peso (%)	Tanque opción A		Tanque opción B		Tanque opción C		Tanque opción D	
		Cumplimiento	Ponderación	Cumplimiento	Ponderación	Cumplimiento	Ponderación	Cumplimiento	Ponderación
Volumen operativo	25	Volumen = 612.581 bbls. 2,01% superior.	= 0,75	Volumen = 592.227 bbls. 1,3% inferior.	= 1	Volumen = 613.914 bbls. 2,32% superior.	= 0,5	Volumen = 600.724 bbls. 0,13% superior.	= 1,25
Ubicación dentro del recinto	25	Diámetro = 100 m, quedan 10 m libres por cada lado del recinto.	= 0,5	Diámetro = 90 m, quedan 15 m libres por cada lado del recinto.	= 0,75	Diámetro = 85 m, quedan 17,5 m libres por cada lado del recinto.	= 1	Diámetro = 80 m, quedan 20 m libres por cada lado del recinto.	= 1,25
Presión sobre la base	20	Presión con combustóleo = 14,06 t/m ²	= 1	Presión con combustóleo = 17,04 t/m ²	= 0,8	Presión con combustóleo = 19,48 t/m ²	= 0,6	Presión con combustóleo = 21,3 t/m ²	= 0,2
Resistencia a cargas externas	20	D/H = 0,144 D/H < 0,25	= 1	D/H = 0,187 D/H < 0,25	= 0,8	D/H = 0,23 D/H < 0,25	= 0,6	D/H = 0,26 D/H > 0,25	= 0,2
Facilidad constructiva y de mantenimiento	10		= 0,5		= 0,4		= 0,3		= 0,2
Acumulado			3,75		3,75		3		3,1

Fuente: El autor

A partir de la tabla anterior se observa que las opciones A y B tienen igual puntaje, por lo cual se preseleccionarán las dos y serán evaluadas en fase de diseño conceptual, seleccionando entonces la que se considere mejor.

Desarrollo técnico de alternativas

Con las dos opciones de tanque preseleccionadas, se procederá a desarrollar el diseño conceptual de los componentes necesarios para su construcción.

El alcance del diseño es el siguiente;

- Estructura del tanque, incluyendo cuerpo, fondo y techo tipo flotante externo.

- Anillo de cimentación del tanque.

Bases de diseño

Las bases del diseño serán las siguientes;

- Características de crudos a almacenar: Se pueden observar en la tabla 4. Se tomará el crudo tipo combustóleo con gravedad específica de 1,015.
- Concreto para base de los tanques: Se construirán en concreto de 28 MPa. Peso unitario de 2.450 Kg/m³.
- Acero de refuerzo: Barras corrugadas grado 60, con $F_y = 420$ MPa.
- Acero estructural: Calidad ASTM A36, con $F_y = 250$ MPa.
- Sistema de unidades: Para los cálculos se usarán unidades del sistema internacional (SI), excepto para unidades de volumen, donde se utilizarán alternativamente la unidad m³ y la unidad Inglesa Barril (bbl).
- Características del sitio: Las características ambientales del sitio donde se encuentra la Terminal se especifican en la tabla 9.

Tabla 9*Características del sitio*

Características del sitio Terminal San Bernardo		
Característica	Valor	Fuente
Temperatura atmosférica	28-35 °C	IDEAM
Sismicidad	Zona intermedia	Norma NSR-10
	Aa = coeficiente aceleración = 0,10 Av= coeficiente velocidad = 0,15	
Viento	Velocidad = 120 Km/h	Norma NSR-10
	Región eólica 4 Factor de importancia = 1,15	

Fuente: Referenciada

El cálculo conceptual de los tanques se hará aplicando las siguientes condiciones;

- Los tanques se fabricarán con láminas de acero de tamaño 2,4 m x 12 m. Esta medida es la mayor disponible comercialmente, y permite obtener ahorros en la construcción.
- La forma de los tanques será cilíndrica vertical.
- Los tanques se apoyarán sobre una base de material térreo mejorado, contenido dentro de un anillo de concreto reforzado.
- El techo de los tanques será tipo flotante externo, de similar construcción a los instalados en los tanques existentes de 400 Kbbl.
- El cálculo estructural del tanque se hará utilizando los conceptos definidos por la norma API 650. Esta norma establece los criterios para tanques de almacenamiento de agua o combustible y para tanques que trabajan a presión atmosférica.

- El diseño de la base de los tanques se hará según los criterios establecidos por las normas NSR-10, ACI-318 y API 650.

Láminas del cuerpo

Teniendo en cuenta el tamaño del tanque, se selecciona un acero de alta resistencia que permita obtener los menores espesores para los anillos del cuerpo. Esto facilita el suministro y mayormente el proceso de soldadura de las láminas.

De los aceros indicados en la tabla 5-2a de la norma API 650 se escoge la calidad ASTM A573 grado 70. Ver figura 4 de los anexos del presente documento.

Por tratarse de tanques de gran diámetro, se utilizará el método de diseño de punto variable para calcular el espesor de los anillos.

Se aplicará sobre-espesor por corrosión a los cuatro primeros anillos del tanque.

Los datos necesarios para los cálculos se especifican en la tabla 10.

Tabla 10

Datos para calcular espesor de láminas

Datos para calcular espesor de láminas										
Opción	Tanque					Material ASTM A573 Gr 70				
	Diámetro (m)	Altura Total (m)	Altura Remanente (m)	Altura Operativa (m)	G	Número de anillos	Altura Anillo (m)	Sd (Mpa)	St (Mpa)	CA (mm)
A	100	14,4	2,0	12,4	1,015	6	2,4	193	208	1,5875
B	90	16,8	2,0	14,8	1,015	7	2,4	193	208	1,5875

Fuente: El autor.

Para calcular el espesor de las láminas del primer anillo se utilizarán las siguientes fórmulas del numeral 5.6.3.2 de la norma API 650;

$$tpd = (4.9D(H - 0.3)G/Sd) + CA$$

$$t_{pt} = 4,9D(H - 0,3)/S_t$$

$$t_{td} = (1,06 - 0,0696D(\sqrt{HG/S_d})) (4,9HDG/S_d) + CA$$

$$t_{tt} = (1,06 - 0,0696D(\sqrt{H/S_t})) (4,9HD/S_t)$$

Donde;

t_{pd} = Espesor preliminar calculado por diseño según el fluido almacenado. En mm.

t_{pt} = Espesor preliminar calculado por prueba hidrostática. En mm.

D = Diámetro nominal del tanque. En m.

H = Altura del líquido usada para diseño. En m.

G = Gravedad específica del fluido.

S_d = Máxima tensión admisible por el material en condiciones de diseño. En MPa.

S_t = Máxima tensión admisible por el material en prueba hidrostática. En MPa.

CA = Tolerancia de corrosión definida para el material. Será aplicado para los cuatro primeros anillos del tanque. En mm.

Se utiliza el siguiente procedimiento;

- 1) Calcular los espesores t_{pd} y t_{pt} .
- 2) Calcular los espesores t_{td} y t_{tt} , verificando que sean menores que t_{pd} y t_{pt} .
- 3) Seleccionar el mayor valor entre t_{td} y t_{tt} , y ese será el espesor del primer anillo.

Para el tanque opción A y con los datos de la tabla 5 se realizan los cálculos correspondientes, con los siguientes resultados;

El espesor para el primer anillo del tanque A será $t_{1A} = 35,56$ mm (comercial 1-7/16")

Para el tanque opción B se tiene;

El espesor para el primer anillo del tanque B será $t_{1B} = 38,11$ mm (comercial 1 -1/2")

Para calcular el espesor de las láminas para los siguientes anillos del cuerpo de los tanques se utilizará el método descrito en el apéndice K de la norma API 650.

En la figura 5 de los anexos del presente trabajo se observa la aplicación del modelo de cálculo utilizado, y los datos obtenidos se relacionan en la tabla 11.

Tabla 11

Espesor de láminas para anillos

Espesor de láminas para anillos tanques				
Anillo	Tanque opción A		Tanque opción B	
	Calculado (mm)	Comercial	Calculado (mm)	Comercial
1°	35,6	1-7/16" (36,5 mm)	38,1	1-1/2" (38,1 mm)
2°	33,9	1-3/8" (34,9 mm)	35,6	1-7/16" (36,5 mm)
3°	30,3	1-1/4" (31,8 mm)	32	1-5/16" (33,3 mm)
4°	25	1" (25,4 mm)	27	1-1/8" (28,6 mm)
5°	15,5	5/8" (15,9 mm)	19,2	13/16" (20,6 mm)
6°	6	3/8" (9,5 mm)	10,9	7/16" (11,1 mm)
7°	-	-	5,8	3/8" (9,5 mm)

Fuente: El autor

Para calcular la cantidad de láminas que serán utilizadas para los anillos del tanque, se utiliza la siguiente fórmula;

$$Q_{LA} = (P_T/L_L)N_a$$

Donde: Q_{LA} = Cantidad de láminas por anillo

P_T = Perímetro del tanque. En m.

Tanque opción A, $P_T = 314,16$ m

Tanque opción B, $P_T = 282,74$ m

L_L = Longitud de cada lámina = 12 m

N_a = Número de anillos del tanque.

Tanque opción A = 6 anillos

Tanque opción B = 7 anillos

En la tabla 12 se observa la cantidad de láminas que se requieren para el cuerpo de los tanques, y su peso total.

Tabla 12

Cantidad de láminas para cuerpo tanques

Cantidad de láminas para cuerpo tanques						
Anillo	Tanque opción A			Tanque opción B		
	Cantidad	Espesor	Peso (Kg)	Cantidad	Espesor	Peso (Kg)
1°	26,2	1-7/16" (36,5 mm)	216.200	23,6	1-1/2" (38,1 mm)	203.282
2°	26,2	1-3/8" (34,9 mm)	206.723	23,6	1-7/16" (36,5 mm)	194.745
3°	26,2	1-1/4" (31,8 mm)	188.361	23,6	1-5/16" (33,3 mm)	177.672
4°	26,2	1" (25,4 mm)	150.452	23,6	1-1/8" (28,6 mm)	152.595
5°	26,2	5/8" (15,9 mm)	94.180	23,6	13/16" (20,6 mm)	109.911
6°	26,2	3/8" (9,5 mm)	216.200	23,6	7/16" (11,1 mm)	59.224
7°	-	-	-	23,6	3/8" (9,5 mm)	50.687
TOTAL			1.072.117			948.116

Fuente: El autor

Fondo del tanque

El fondo de los tanques irá soportado sobre una base de material térreo mejorado, recubierto con asfalto, esta base es la encargada de soportar el peso de la columna de producto, o de agua en caso de la prueba hidrostática. De acuerdo con lo anterior y al tipo de trabajo que realizan, para la fabricación del fondo se utilizan láminas de menor espesor a las usadas en el cuerpo.

Según lo especificado por la norma API 650, el mínimo espesor de las láminas del fondo en condición corroída debe ser 6 mm.

Para nuestro caso y teniendo en cuenta que el producto a almacenar contiene sedimentos y agua, se define una tolerancia de corrosión al fondo (CA) de 3,175 mm (1/8").

El espesor del fondo será el mínimo más la tolerancia de corrosión;

$$e_F = (6 + 3,175) \text{ mm} = 9,175 \text{ mm} \text{ (comercial } 3/8'' = 9,525 \text{ mm)}.$$

De acuerdo con las condiciones en que trabajarán las láminas del fondo, se fabricarán en acero calidad ASTM A-36.

Para calcular el área del fondo y su peso, se tiene en cuenta lo siguiente;

$R' =$ Radio neto del fondo. En m.

$=$ radio del tanque – ancho del anillo anular + pestaña externa del anillo anular + traslape

Para el tanque opción A, $R' = 50 - 0,775 + 0,05 + 0,1 = 49,375$ m

Para el tanque opción B, $R' = 45 - 0,974 + 0,05 + 0,1 = 44,176$ m

En la tabla 13 se relacionan los datos de área neta y peso del fondo de los tanques.

Tabla 13

Área y peso fondo

Área y peso fondo					
Opción	Diámetro nominal (m)	R' (m)	Área neta (m ²)	Espesor lámina (mm)	Peso fondo (Kg)
A	100	49,375	7.659	9,525	572.664
B	90	44,176	6.131	9,525	458.414

Fuente: El autor

Anillo anular del fondo

El anillo anular del fondo es el encargado de soportar el peso de las láminas del cuerpo del tanque. Está ubicado y soldado perimetralmente bajo el fondo del tanque, y sobresale 50 mm hacia el exterior de las láminas del cuerpo. Por norma el ancho mínimo del anillo anular debe ser 612 mm (24 pulgadas).

Para determinar el espesor de placa del anillo anular se toma la tabla 5-1a de API 650, que se puede observar en la figura 6 de los anexos del presente documento.

Utilizando el mayor esfuerzo a que estará sometido el primer anillo del cuerpo, por producto o por prueba hidrostática;

$$\text{Esfuerzo por producto} = ((t_{1d} - CA) S_d) / (t_1 - CA)$$

$$\text{Esfuerzo por prueba hidrostática} = (t_{1t} / t_1) CA$$

Con el mayor valor de esfuerzo calculado se selecciona el espesor de diseño de la tabla referida. Este es el espesor sin tolerancia de corrosión.

Por la ubicación del anillo anular en el fondo del tanque, se aplica la misma tolerancia de corrosión de 3,175 mm (1/8”).

El material para el anillo anular es el mismo utilizado para los anillos del cuerpo (ASTM A573 Gr 70).

Para el tanque opción A se tiene;

$$\text{Esfuerzo por producto} = 187,8 \text{ MPa}$$

$$\text{Esfuerzo por prueba hidrostática} = 180,3 \text{ MPa}$$

$$\text{Espesor de diseño tabla 5-1a} = e_{Ad} = 9 \text{ mm}$$

Entonces el espesor calculado del anillo anular para el tanque opción A será;

$$e_{AA} = (9 + 3,175) \text{ mm} = 12,175 \text{ mm} \text{ (comercial } 1/2'' = 12,7 \text{ mm)}$$

Para el tanque opción B;

Esfuerzo por producto = 193 MPa

Esfuerzo por prueba hidrostática = 185,5 MPa

Espesor de diseño tabla 5-1a = e_{Bd} = 13 mm

Entonces el espesor calculado del anillo anular para el tanque opción B será;

$$e_{BA} = (13 + 3,175) \text{ mm} = 16,175 \text{ mm} \text{ (comercial } 11/16'' = 17,5 \text{ mm)}$$

Con el espesor del anillo anular se calcula su ancho A , utilizando la siguiente fórmula del numeral 5.5.2 de la norma API 650;

$$A = (215t_b) / \sqrt{HG} \text{ en mm}$$

Donde;

t_b = Espesor de lámina para anillo anular del fondo. En mm.

H = Altura máxima del nivel del líquido. En m.

G = Gravedad específica del líquido (combustóleo).

Para el tanque opción A; $A_A = 775 \text{ mm}$

Para el tanque opción B; $A_B = 974 \text{ mm}$

En la tabla 14 se pueden observar los datos de área y peso del anillo anular para los tanques.

Tabla 14*Área y peso anillo anular*

Área y peso anillo anular						
Opción	Ancho anillo (m)	Radio interno (m)	Radio externo (m)	Área (m2)	Espesor lámina (mm)	Peso anillo anular (Kg)
A	0,775	49,275	50,050	242	12,7	24.109
B	0,974	44,076	45,050	273	17,5	37.465

Fuente: el autor.

Techo flotante

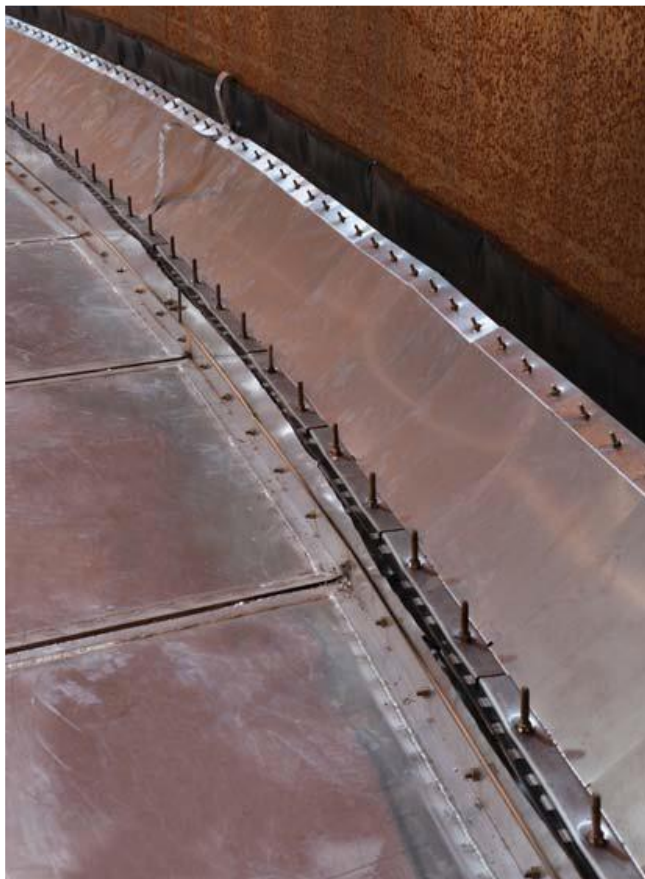
El techo flotante tiene como función principal cubrir el fluido para evitar contaminación hacia y desde el interior del tanque. La superficie interna del techo flotante está en contacto con el fluido, por lo que otra de sus funciones es evitar que se formen vapores sobre la superficie del fluido y se pierda contenido del tanque por evaporación.

El techo será del tipo doble cubierta, donde dos láminas de bajo espesor se ubican en posición superior e inferior, uniéndose por medio de una estructura formada por vigas en U. En el perímetro del techo flotante se instalan estructuras vacías denominadas PONTONES, las cuales ayudan a garantizar la flotabilidad del techo sobre el fluido.

Para evitar la salida de vapores entre el cuerpo del techo flotante y el cuerpo del tanque se instala un sello, compuesto por láminas metálicas y láminas de material sintético flexible similar al ilustrado en la figura 8.

Figura 8

Sello de techo flotante externo



Fuente; El autor.

El diseño detallado del techo flotante lo realiza el constructor del tanque, siguiendo los parámetros del apéndice C de la norma API 650.

En el presente diseño conceptual, se hará un cálculo preliminar de la cantidad de material que llevará el techo flotante, de acuerdo con las siguientes consideraciones;

- El techo tendrá altura de 1 m.

- Se utilizará lámina calidad ASTM A-36 de espesor 6 mm (1/4"). Este espesor se selecciona por ser tanque de gran diámetro, por norma el mínimo es de 4,8 mm (3/16").
- La estructura interna se construirá con viga U ASTM A-36 de 200 mm (comercial 8" x 11,5). Este perfil es el normalmente utilizado para techos de éste diámetro. Las vigas estarán distribuidas en cada borde de la lámina en sentido longitudinal, y transversalmente a una distancia de 2,4 m que es el ancho de la lámina.
- Los pontones tendrán un ancho de 1,8 m. De ésta forma se utiliza una medida comercial y se evita desperdicio de material.
- En cada punto de intersección horizontal de las vigas se instalará una columna entre las dos láminas.

En la tabla 15 se observa el detalle de cantidades de materiales y peso estimado del techo.

Tabla 15

Materiales y peso del techo flotante

Materiales y peso del techo flotante								
Opción	Diámetro nominal (m)	Área sección central (m ²)	Área sección pontones (m ²)	Pesos de sección central (Kg)		Pesos de sección pontones (Kg)		Peso total (Kg)
				Láminas	Perfiles	Láminas	Perfiles	
A	100	7.299	1.419	733.372	110.131	71.297	5.018	919.819
B	90	5.863	1.275	589.112	88.893	64.036	4.529	746.570

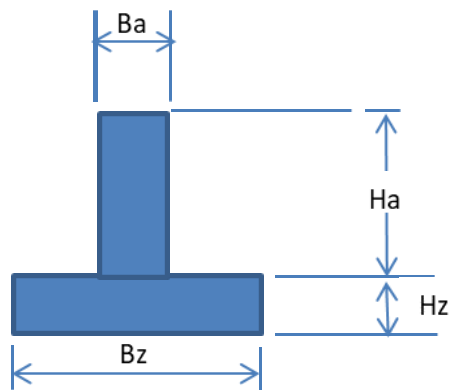
Fuente: El autor

Base de los tanques

La base de concreto de los tanques se diseña de acuerdo con los criterios definidos en las normas NSR-10, ACI-318 y API 650. Su forma constructiva y medidas serán como se ilustra en la figura 9.

Figura 9

Forma constructiva base de concreto



Fuente; El autor.

Con los datos obtenidos para dimensiones y peso del cuerpo de los tanques y las bases de diseño definidas se calculan las medidas de la base, que será construida en concreto reforzado de 28 MPa.

Se tendrán en cuenta las siguientes cargas;

- Carga muerta correspondiente al peso propio del tanque, fluido contenido y demás cargas permanentes en la estructura.
- La carga viva asociada al uso de la estructura y corresponde a las cargas transitorias o no permanentes.
- La carga de viento, aplicando la presión originada al área expuesta de la estructura y se ajustará con los factores de altura y forma correspondientes.

- Las cargas por sismo, de acuerdo con la zona donde se ubica el proyecto. Para las combinaciones con sismo, se considerará el 100% del sismo actuando en una dirección horizontal y un 30% del sismo en la dirección ortogonal horizontal.
- Cargas debidas al empuje lateral del suelo, generadas por el peso y presión del suelo seco o saturado con agua u otro líquido, y aplicadas contra las estructuras enterradas o semienterradas con restricción horizontal.
- Carga por prueba hidrostática. Corresponde al peso del tanque más el líquido necesario para ejecutar las pruebas hidrostáticas.

En la figura 7 de los anexos del presente trabajo se observa el desarrollo realizado para calcular la base de concreto para las dos opciones de tanque.

En la tabla 16 se relacionan los datos obtenidos.

Tabla 16

Datos constructivos bases de concreto

Datos constructivos base de concreto (m)				
Opción	Ba	Ha	Bz	Hz
A	0,54	0,8	0,4	2,4
B	0,60	0,8	0,4	2,4

Fuente: El autor

Selección tanque

Teniendo en cuenta los datos conceptuales calculados para los tanques, se realiza una comparación del peso total de material que se requiere para cada opción;

- $\text{Peso del tanque} = W_{TK} = \text{Peso de cuerpo} + \text{Peso del fondo} + \text{Peso del anillo anular} + \text{Peso del techo flotante}$
- $\text{Peso de la base} = W_B = \text{Peso del anillo de concreto} + \text{Peso de relleno del anillo}$

En la tabla 17 se observan los datos de pesos calculados.

Tabla 17

Peso de los tanques

Peso de los tanques (Kg)				
Descripción	Tanque opción A	Tanque opción B	Diferencia en peso	Observaciones
Cuerpo	1.072.117	948.116	-124.000	
Fondo	572.664	458.414	-114.249	
Anillo anular	24.109	37.465	13.355	
Techo flotante	919.819	746.570	-173.249	
TOTAL OBRA MECÁNICA	2.588.708	2.190.565	-398.143	Menor peso del tanque opción B
Anillo de concreto	1.186.239	1.104.430	-81.810	
Relleno de anillo	11.642.400	10.841.600	-800.800	
TOTAL OBRA CIVIL	12828639	11946030	-882609,6	Menor peso del tanque opción B

Fuente: El autor

De acuerdo con los datos obtenidos para el peso de los tanques, se selecciona el tanque opción B, con las siguientes características;

- Diámetro 90 m.
- Altura 16,8 m.
- Cuerpo con siete anillos y espesores según se observa en la tabla 13.

- Fondo espesor 9,5 mm (3/8”).
- Anillo anular espesor 17,5 mm (11/16”).

Aspectos ambientales y legales

Aspectos ambientales

En cumplimiento de lo establecido en el decreto 2041/2014, para iniciar la construcción de los nuevos tanques, la Terminal deberá tener vigente la correspondiente licencia ambiental expedida por la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales (ANLA). Adicionalmente, cumplir con los requerimientos establecidos en el Plan de Manejo Ambiental (PMA) que fue aprobado por la ANLA.

Durante la etapa constructiva se deberán presentar a la ANLA los correspondientes Informes de Cumplimiento Ambiental (ICA).

Si durante la construcción de los tanques se presentan incidentes por derrame de crudos en las zonas de influencia los trabajos, se deberá atender la contingencia según lo establecido en el decreto 321/1999.

La ejecución de las obras deberá cumplir con lo establecido en los decretos 2041/2014 y 1076/2015.

En la etapa constructiva se tendrán en cuenta los siguientes aspectos;

- *Contención de derrames en diques compartidos:* Para contener derrames de crudos en los recintos de los tanques, se deben complementar las paredes de los diques compartidos, de

forma que la altura resultante en cada recinto sea suficiente para contener el volumen del 50% de un tanque.

- Disponibilidad de agua para realizar pruebas hidrostáticas: Se verificó que la empresa operadora cuenta con el permiso correspondiente de la Corporación Autónoma Regional de Sucre (CARSUCRE) para utilizar agua de mar en las pruebas. Luego de las pruebas se deberá tratar el agua para realizar su vertimiento.
- Disponibilidad de agua para consumo durante la construcción: Durante la construcción de los tanques, el consumo de agua dulce para uso doméstico por parte de los trabajadores y para las obras, deberá cumplir con los volúmenes autorizados por la concesión de aguas vigente a la Terminal.
- Separación de aguas lluvias y aceitosas en los recintos: Se deben ampliar los ductos que conducen las aguas lluvias que son vertidas al mar, y los ductos que llevan las aguas aceitosas a la caja separadora de hidrocarburos, previo a su vertimiento al mar. Para estos vertimientos existe autorización de CARSUCRE.
- Limpieza de superficies a pintar: Por el alto grado de contaminación generada al ambiente, no se aceptará el uso de arena a presión para la limpieza de superficies a pintar. El contratista deberá utilizar granalla de acero.
- Materiales para obras civiles: Los materiales utilizados para mejoramiento de suelos y construcción de las obras civiles deben provenir de sitios de explotación autorizados por el Ministerio de Minas.

- Almacenamiento de sobrantes de construcción: Los sobrantes de obras civiles se deben disponer en sitios autorizados por el Ministerio de Minas y CARSUCRE. Si los materiales presentan contaminación por hidrocarburos deberán ser tratados y dispuestos por empresas especializadas.

Aspectos legales

Los aspectos legales relacionados son los siguientes;

- Permisos inmobiliarios y de construcción: Al ser una construcción dentro de la Terminal, no se requiere permiso inmobiliario o de construcción.
- Cumplimiento del POT definido para la zona donde se desarrollará el proyecto: La zona donde se construirán los tanques está cubierta por el carácter industrial del POT vigente para el municipio de Tolú.
- Régimen de contratación: Por tratarse de empresas operadoras de la industria petrolera, la construcción de los tanques se deberá realizar siguiendo los lineamientos de la ley 80.
- Autorización para entrada en servicio de los tanques: Luego de contruidos y probados los tanques, se debe realizar su aforo y tramitar ante el Ministerio de Minas la autorización para su inclusión en la base de tanques y que puedan entrar en servicio.

Estructura de costos

De acuerdo con la opción de tanque seleccionada, se elabora un cuadro con costos unitarios para las actividades de obra requeridas, como se observa en la tabla 18.

En la figura 8 de los anexos del presente documento se encuentra el cuadro de costos completo.

Tabla 18*Costos de construcción tanques*

Costos de construcción tanques		
Item	Descripción	Valor (\$)
1	Actividades preliminares	1.040.000.000
2	Obra Civil	10.764.700.000
3	Obra Mecánica	61.301.420.000
4	Limpieza final	89.000.000
TOTAL		73.195.120.000

Fuente: El Autor.

Evaluación de factibilidad económica

Con los costos que se obtuvieron para la construcción de los tanques, se realiza el estudio financiero para saber si es conveniente la ejecución del proyecto.

La financiación del proyecto se hace con recursos propios del operador de la Terminal San Bernardo.

Se ha definido una tasa de interés de oportunidad del 10% efectivo anual para calcular la rentabilidad del proyecto.

Se estima un plazo de 18 meses para la construcción de los dos tanques, iniciando en marzo del 2021 y terminando en septiembre del 2022. La vida útil del proyecto es de 10 años, y teniendo en cuenta los trámites ante las autoridades del Ministerio de Minas y la ANLA, se espera iniciar el uso de los tanques a comienzo del año 2023.

El costo de construcción de los tanques se observa en la tabla 18, y será comparado con los ingresos que se obtengan anualmente por cobro de almacenamiento de crudos en los nuevos tanques así;

Ingreso anual por almacenamiento = Capacidad usada nuevos tanques x tarifa de almacenamiento

La capacidad que se considera a utilizar por los nuevos tanques es la siguiente;

- 350 Kbbl por el tanque que se deja de arrendar a terceros.
- 200 Kbbl de los dos tanques que se desmantelan para construir dentro de su recinto los dos nuevos tanques.
- 500 Kbbl de un tanque existente de 400 Kbbl y un tanque existente de 100 Kbbl que se dejan disponibles como respaldo cuando se hace mantenimiento programado a otro tanque de la terminal y como respaldo de almacenamiento para cargar buques-tanque de capacidad 1.000 Kbbl que se proyectan contratar, para ahorrar costos de transporte y de logística por el cargue.

Teniendo en cuenta los anteriores parámetros, el volumen de almacenamiento objetivo para los cálculos será de 1.050 Kbbl (1.050.000 bbl).

La tarifa para almacenamiento de crudos en tanques se estableció en el estudio de mercado, y es de 0,011 USD-bbl-día.

Los valores que se proyecta recibir por almacenamiento se incrementarán anualmente en el porcentaje de inflación definida por el gobierno. Para los cálculos se tomará el promedio de inflación en los últimos diez años, según se observa en la tabla 19.

Tabla 19*Inflación promedio anual en Colombia*

Inflación promedio anual en Colombia											
Año	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	Promedio (%)
Inflación (%)	3,17	3,73	2,44	1,94	3,66	6,77	5,75	4,09	3,18	3,8	3,85

Fuente: DANE.

Con los datos de almacenamiento objetivo y tarifas de almacenamiento se elabora la tabla 20 de ingresos anuales proyectados, ajustados con la inflación.

Tabla 20*Ingresos anuales proyectados*

Ingresos anuales proyectados				
Año	Ingreso base (\$)	Ajuste por inflación (\$)	Ingresos anuales (\$)	Ingreso Acumulado (\$)
1	13.305.600.000	0	13.305.600.000	13.305.600.000
2	13.305.600.000	512.265.600	13.817.865.600	27.123.465.600
3	13.817.865.600	531.987.826	14.349.853.426	41.473.319.026
4	14.349.853.426	552.469.357	14.902.322.782	56.375.641.808
5	14.902.322.782	573.739.427	15.476.062.210	71.851.704.018
6	15.476.062.210	595.828.395	16.071.890.605	87.923.594.622
7	16.071.890.605	618.767.788	16.690.658.393	104.614.253.015
8	16.690.658.393	642.590.348	17.333.248.741	121.947.501.756
9	17.333.248.741	667.330.077	18.000.578.818	139.948.080.574
10	18.000.578.818	693.022.284	18.693.601.102	158.641.681.676

Fuente: El autor.

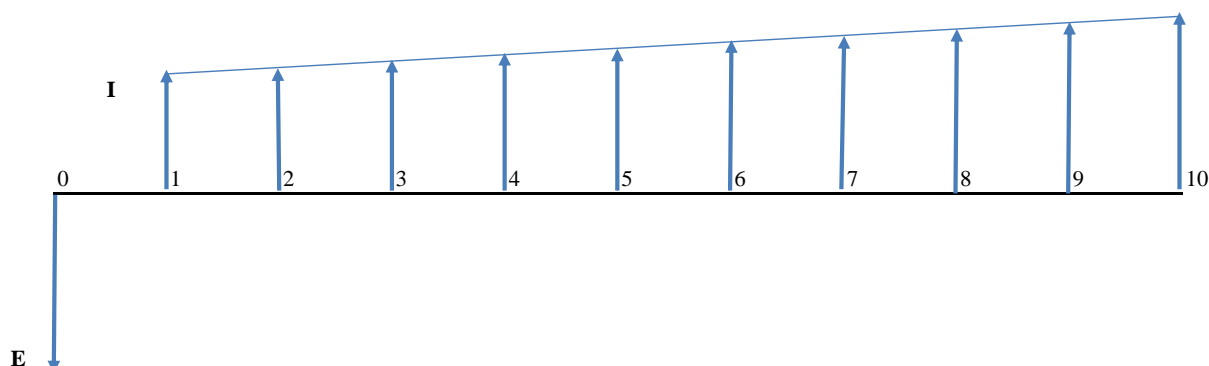
Valor Presente Neto

El indicador de Valor Presente neto (VPN) es un indicador que permite traer los valores futuros de ingresos y egresos de un proyecto a un valor actual, teniendo en cuenta el efecto de las tasas de interés.

Para la presente evaluación, se tiene un flujo financiero compuesto por un gasto inicial y unos ingresos anuales afectados por un gradiente, que es la inflación como se observa en la figura 10.

Figura 10

Diagrama de flujo financiero del proyecto



Fuente: El autor.

En la figura 10 se tiene;

$E = \text{Gasto inicial por construcción} = \$73.195.120.000$

$I = \text{Ingreso anual por almacenamiento incrementado cada año por el justeo de inflación}$

$= \text{Valores en la columna } \textit{Ingresos anuales} \text{ de la tabla 20.}$

La tasa de oportunidad es;

$i = 10\%$ efectivo anual

Con los datos del diagrama financiero y la tasa de oportunidad se calcula el VPN, según se observa en la figura 9 de los anexos del presente documento;

$$\text{VPN} = \$21.454.158.538$$

Como el VPN es positivo, se puede realizar la inversión en este proyecto.

Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) es la tasa de interés o rentabilidad que ofrece una inversión. Se calcula haciendo llegar el VPN a cero.

Con $\text{VPN} = 0$ se halla la tasa de interés;

$$\text{TIR} = 16,03\%$$

Como la TIR es mayor que la tasa de oportunidad de 10%, el proyecto garantiza generar rentabilidad sobre la inversión.

Relación beneficio-costo

La relación beneficio – costo (RBC) representa la relación existente entre los beneficios obtenidos por la ejecución del proyecto, respecto de los costos y desbeneficios del mismo.

$$\text{RBC} = (\text{beneficios-desbeneficios})/\text{costos}$$

En este caso no se consideran desbeneficios por ejecución del proyecto, entonces, con el VPN de los ingresos que se proyecta recibir y los costos de construcción, se calcula la RBC;

$$\text{RBC} = 1,29$$

Como $\text{RBC} > 1$ el proyecto es viable económicamente.

El procedimiento de cálculo se puede verificar en la figura 9 de los anexos del presente documento.

Conclusiones

Con el estudio de mercado realizado se verificó la viabilidad del caso de negocio planteado por el proyecto.

De acuerdo con la evaluación económica realizada, se determinó que el proyecto es viable económicamente, al comparar inversiones contra ingresos, con resultados de VPN positivo y TIR mayor que la tasa de oportunidad definida para la inversión.

La recuperación de la inversión se logra aproximadamente en 5 años y un mes, lo cual es la mitad de la vida útil del proyecto y es aceptable para éste tipo de negocio.

El desarrollo del proyecto permitirá conseguir ahorros a la empresa operadora de la Terminal San Bernardo, por eliminar la necesidad de pagar arrendamiento de tanques a terceros.

La construcción de los nuevos tanques permitirá mejorar la flexibilidad y confiabilidad de la operación, al reemplazar dos tanques en mal estado y poder disponer de un tanque para cuando se realice mantenimiento programado a alguno de los otros.

Con el desarrollo del presente proyecto se cumplieron los objetivos planteados.

.

Recomendaciones

Si se realiza la construcción de los tanques se tendrá un aumento considerable en el volumen de almacenamiento, por lo cual se debería actualizar todo el sistema contra-incendio.

De acuerdo con visita realizada a la Terminal, se deberían reemplazar los tanques existentes #1 y # 3, y para cumplir con el criterio de contención de derrames en diques compartidos se debería tener en cuenta utilizar los recintos de los tanques # 2 y # 4.

Para manejar los volúmenes de crudos en los nuevos tanques se tendrá que construir un múltiple de válvulas de mayor diámetro, acorde con las líneas de los tanques.

El tratamiento de las aguas aceitosas generadas por drenaje de los nuevos tanques requiere ampliación del sistema de tuberías y la caja de tratamiento API.

Teniendo en cuenta el gran volumen de agua necesario, el desarrollo constructivo deberá orientarse de tal forma que se pueda reutilizar la misma agua para hacer la prueba hidrostática de los dos tanques.

Por el tamaño de los tanques a fabricar, que serían de los mayores existentes en Colombia, se debería solicitar amplia experiencia constructiva y financiera a los participantes en la licitación.

De acuerdo con las características de los materiales necesarios, como estrategia para ganar tiempo en la construcción, la empresa contratante debería comprar y suministrar las láminas necesarias para el cuerpo del tanque.

Desde el momento que se obtenga la viabilidad del proyecto, se deberían iniciar acercamientos para lograr acuerdos con los grupos étnicos que habitan alrededor de la Terminal y se verán afectados por el proyecto, así como tendrán expectativas laborales dentro del mismo.

Una vez aprobada la ejecución del proyecto, se deberán realizar los trámites ante la ANLA para la aprobación del Plan de Manejo Ambiental (PMA).

Referencias bibliográficas

ANH. (Agosto 29 del 2020). *Estadísticas de producción de hidrocarburos*. Bogotá D.C.

<http://www.anh.gov.co/estadísticas-del.-sector/sistemas-integrados>.

ANLA. (2014). Resolución 0341 del 2014 por medio de la cual se establece la Cesión de

derechos y obligaciones originadas y derivados del Plan de Manejo Ambiental. Bogotá D.C.

ANLA. http://portal.anla.gov.co/sites/default/files/12254_res_0341_040414.pdf

API. (2017). Tanques soldados para almacenamiento de hidrocarburos. Norma API 650.

American Petroleum Institute. Washington D.C.

Blank, L. & Tarquin, A. (2006). Ingeniería económica. McGraw-Hill. Bogotá.

CARSUCRE. (2014). Resolución 0455 del 2014 mediante la cual se concede Autorización para

captación de agua de mar. CARSUCRE. <https://casrsucre.gov.co/resoluciones-2/>

CENIT. (Marzo 14 del 2019). *Estrategias de transporte y almacenamiento*. Bogotá D.C. <https://www.cenit-transporte.com/wp-content/uploads/2019/03/estrategia-cenit-2019->

[//www.cenit-transporte.com/wp-content/uploads/2019/03/estrategia-cenit-2019-](https://www.cenit-transporte.com/wp-content/uploads/2019/03/estrategia-cenit-2019-)

DANE. (Noviembre 12 del 2020). *Índice de precios al consumidor*. Bogotá D.C. [https://www.](https://www.dane.gov.co/index.php/indices-de-precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc)

[dane.gov.co/index.php/indices-de-precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc](https://www.dane.gov.co/index.php/indices-de-precios-y-costos/indice-de-precios-al-consumidor-ipc).

ECOPETROL. (Septiembre 14 del 2020). *Productos refinados*. Bogotá D.C. [https://www.](https://www.ecopetrol.com.co/documentos/inversionistas/marco%20estrat%C3%A9gico)

[ecopetrol.com.co/documentos/inversionistas/marco estratégico](https://www.ecopetrol.com.co/documentos/inversionistas/marco%20estrat%C3%A9gico).

EITI. (Diciembre 16 del 2020). *Marco normativo hidrocarburos*. Bogotá D.C. [https://www.](https://www.eiti.org.co/documentos/marco-normativo-hidrocarburos)

eiticolombia.gov.co/es/informes-eiti/informec-2016/marco-legal-y-regimen-fiscal/marco-normativo-del-sector-de-hidrocarburos/

Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible. (2014, 15 de Octubre). *Decreto 2041 por el cual se reglamenta el Título VIII de la Ley 99 de 1993 sobre licencias ambientales*. Departamento administrativo de la función pública. <http://www.minambiente.gov.co/documentos/decretos>.

Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (2010, 19 de Marzo). *Decreto 926 por el cual se establecen los requisitos de carácter técnico y científico para construcciones sismorresistentes NSR-10*. Departamento administrativo de la función pública. <https://www.funcionpublica.gov.co/eva/gestornormativo/norma.php?i=39255>

UNAD. (2019). Lineamientos para trabajos de grado especializaciones. Bogotá D.C.

UNAD. (Septiembre 2020). *Instructivo para la usabilidad de normas APA*. Bogotá D.C. https://biblioteca.unad.edu.co/images/documentos/Normas_APA_7_Edición.pdf

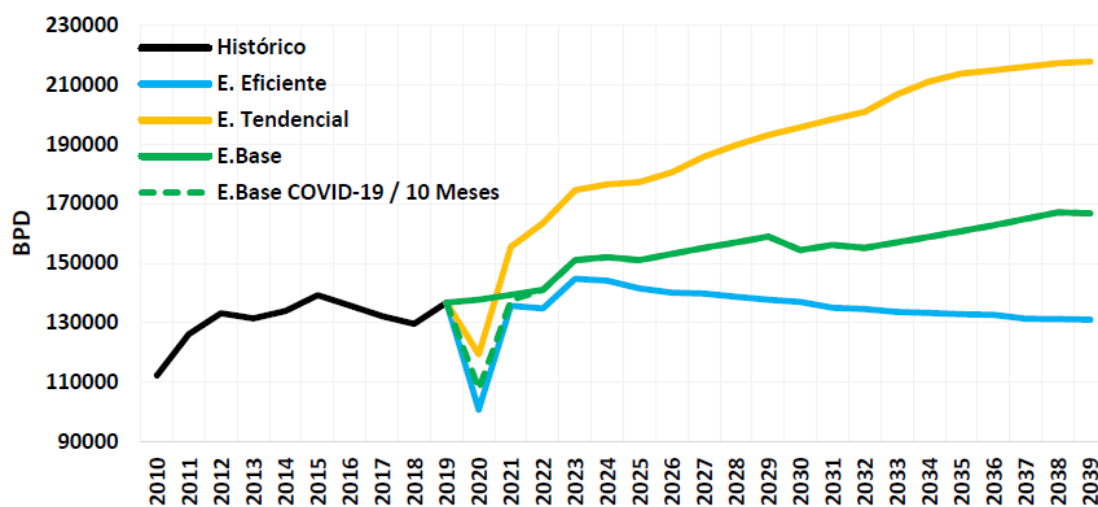
UPME. (Octubre 1 del 2020). *Proyección demanda de energéticos en Colombia*. Bogotá D.C. https://www1.upme.gov.co/demandaenergetica/PEN_documento_para_consulta.pdf.

VALORAANALITIK. (Noviembre 4 del 2020). *Proyección crudos en Colombia*. Medellín. <https://www.valoraanalitik.com/2020/10/27/colombia-ve-petr-leo-a-us-50-en-2021>.

Anexos

Figura 1

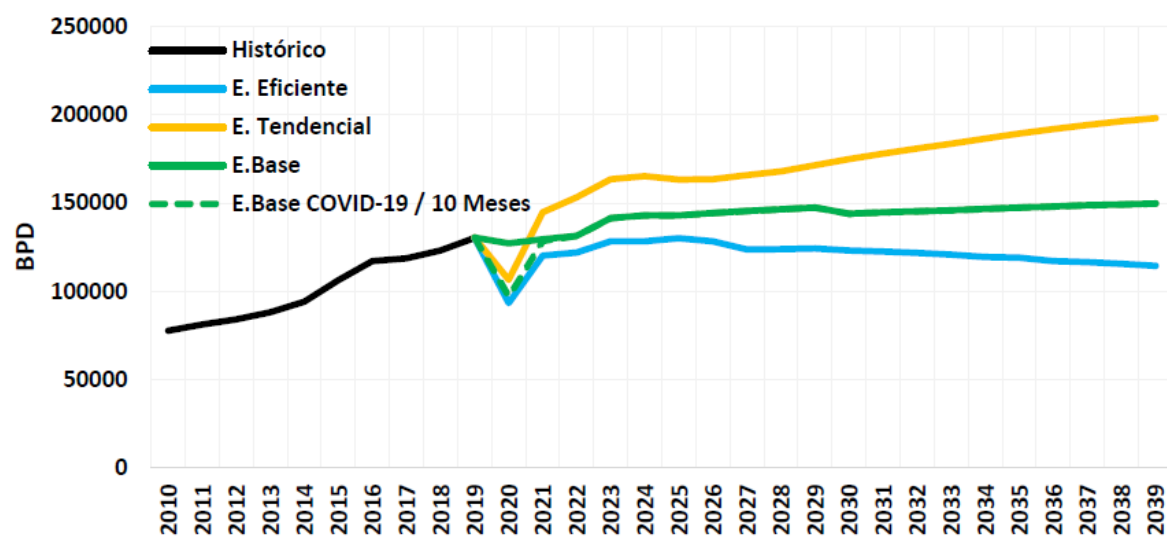
Proyección de consumos de ACPM en Colombia.



Fuente: UPME.

Figura 2

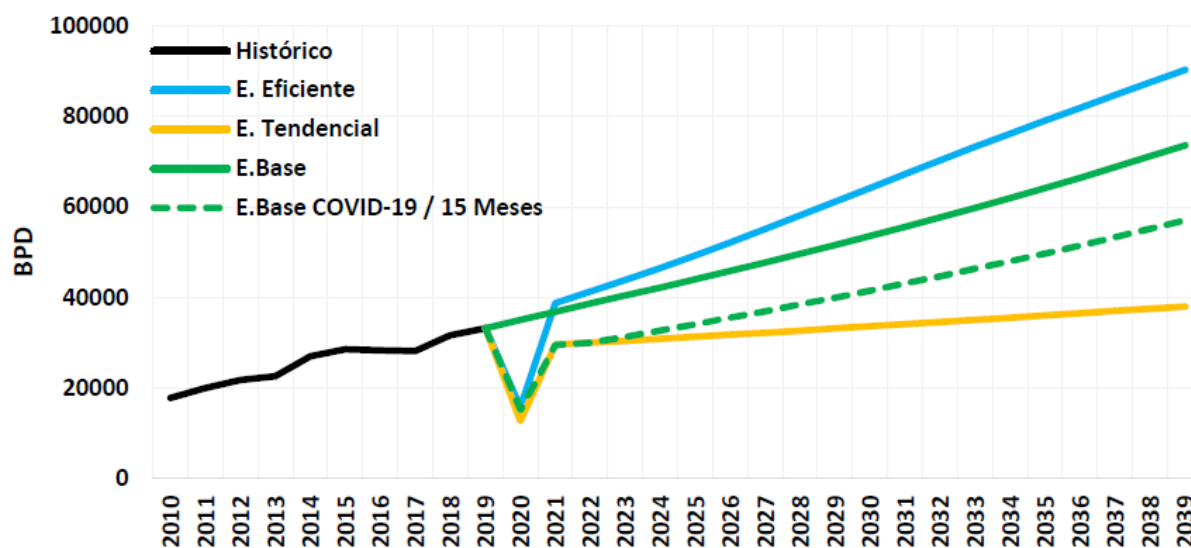
Proyección de consumo de gasolina en Colombia



Fuente: UPME.

Figura 3

Proyección de consumo de Jet Fuel en Colombia



Fuente: UPME.

Figura 4*Tabla de aceros para tanques según norma API 650*

Table 5-2a—(SI) Permissible Plate Materials and Allowable Stresses

Plate Specification	Grade	Nominal Plate Thickness t mm	Minimum Yield Strength Mpa	Minimum Tensile Strength Mpa	Product Design Stress S_d Mpa	Hydrostatic Test Stress S_t Mpa
ASTM Specifications						
A 283M	C		205	380	137	154
A 285M	C		205	380	137	154
A 131M	A, B		235	400	157	171
A 36M	—		250	400	160	171
A 131M	EH 36		360	490 ^a	196	210
A 573M	400		220	400	147	165
A 573M	450		240	450	160	180
A 573M	485		290	485 ^a	193	208
A 516M	380		205	380	137	154
A 516M	415		220	415	147	165
A 516M	450		240	450	160	180
A 516M	485		260	485	173	195
A 662M	B		275	450	180	193
A 662M	C		295	485 ^a	194	208
A 537M	1	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	310	450 ^b	180	193
A 537M	2	$t \leq 65$	415	550 ^a	220	236
		$65 < t \leq 100$	380	515 ^b	206	221
A 633M	C, D	$t \leq 65$	345	485 ^a	194	208
		$65 < t \leq 100$	315	450 ^b	180	193
A 678M	A		345	485 ^a	194	208
A 678M	B		415	550 ^a	220	236
A 737M	B		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 1		345	485 ^a	194	208
A 841M	Class 2		415	550 ^a	220	236
CSA Specifications						
G40.21M	260W		260	410	164	176
G40.21M	260 WT		260	410	164	176
G40.21M	300W		300	450	180	193
G40.21M	300WT		300	450	180	193
G40.21M	350W		350	450	180	193
G40.21M	350WT	$t \leq 65$	350	480 ^a	192	206
		$65 < t \leq 100$	320	480 ^a	192	206
National Standards						
	235		235	365	137	154
	250		250	400	157	171
	275		275	430	167	184
ISO Specifications						
ISO 630	E 355C, D	$t \leq 16$	275	410	164	176
		$16 < t \leq 40$	265	410	164	176
	E 355, D	$t \leq 16$	355	490 ^a	196	210
		$16 < t \leq 40$	345	490 ^a	196	210
		$40 < t \leq 50$	335	490 ^a	196	210
EN Specifications						
EN 10025	S 355J0, J2	$t \leq 16$	275	410	164	176
		$16 < t \leq 1\frac{1}{2}$	265	410	164	176
	S355J0, J2, K2	$t \leq 16$	355	470 ^a	188	201
		$16 < t \leq 40$	345	470 ^a	188	201
		$40 < t \leq 50$	335	470 ^a	188	201

•^aBy agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A 537M, Class 2, A 678M, Grade B, and A 841M, Class 2 materials may be increased to 585 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 515 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

•^bBy agreement between the Purchaser and the Manufacturer, the tensile strength of ASTM A 537M, Class 2 materials may be increased to 550 MPa minimum and 690 MPa maximum. The tensile strength of the other listed materials may be increased to 485 MPa minimum and 620 MPa maximum. When this is done, the allowable stresses shall be determined as stated in 5.6.2.1 and 5.6.2.2.

Figura 5*Cálculo de espesor para láminas de cuerpo tanques*

CÁLCULOS TANQUE OPCIÓN A									
tpd=	37,44			tpt=	33,2				
1°									
t1d=	35,56	=	1,400	=	1-7/16"	36,51			
t1t=	31,64	=	1,246	=	1-7/16"	36,51	(t1d)		
2°									
H2d=	12,00								
H2t=	12,00								
tud=	29,75		Kd=	1,174		Cd=	0,083		
tut=	27,56		Kt=	1,148		Ct=	0,071		
X1d=	1.062,4		X1t=	989,3					
X2d=	995,2		X2t=	853,8					
X3d=	1.487,9		X3t=	1.432,2					
Xd/1000=	0,995		tdx=	27,98					
Xt/1000=	0,854		ttx=	26,26					
tud=	27,98		Kd=	1,248		Cd=	0,116		
tut=	26,26		Kt=	1,205		Ct=	0,097		
X1d=	1.166,0		X1t=	1.071,2					
X2d=	1.388,9		X2t=	1.163,3					
X3d=	1.443,0		X3t=	1.397,9					
Xd/1000=	1,166		tdx=	27,55					
Xt/1000=	1,071		ttx=	25,75					
tud=	27,55		Kd=	1,268		Cd=	0,124		
tut=	25,75		Kt=	1,229		Ct=	0,108		
X1d=	1.192,8		X1t=	1.104,9					
X2d=	1.490,2		X2t=	1.290,1					
X3d=	1.431,8		X3t=	1.384,2					
Xd/1000=	1,193		tdx=	27,48	=	t2a			
Xt/1000=	1,105		ttx=	25,67	=	t2a			
h/(rt)d=	1,816	=	Intermedio						
h/(rt)t=	1,776	=	Intermedio						
Rd=	1,453								
Rt=	1,421								
		e = mm		e = pulg					
t2=	32,30	=	1,271	=	32,30	tL			
CA=	1,588	=	0,063						
t2d=	33,883	=	1,334	=	1-3/8"	=	34,93		
							t1		
t2t=	33,03	=	1,300	=	1-3/8"	Se usa t2d			

CÁLCULOS TANQUE OPCIÓN B							
tpd=	39,35		tpt=	35,0			
1°							
t1d=	38,11	=	1,500	=	1 -1/2"	38,10	36,5
t1t=	33,98	=	1,338	=	1"	38,10	(t1d)
2°							
H2d=	14,40						
H2t=	14,40						
tud=	32,27		Kd=	1,132		Cd=	0,064
tut=	29,89		Kt=	1,137		Ct=	0,066
X1d=	1.027,7		X1t=	1.011,2			
X2d=	914,7		X2t=	949,0			
X3d=	1.470,1		X3t=	1.415,0			
Xd/1000=	0,915		tdx=	30,86			
Xt/1000=	0,949		ttx=	28,52			
tud=	30,86		Kd=	1,183		Cd=	0,087
tut=	28,52		Kt=	1,192		Ct=	0,091
X1d=	1.120,3		X1t=	1.109,9			
X2d=	1.254,6		X2t=	1.308,8			
X3d=	1.437,7		X3t=	1.382,1			
Xd/1000=	1,120		tdx=	30,39			
Xt/1000=	1,110		ttx=	28,18			
tud=	30,39		Kd=	1,201		Cd=	0,095
tut=	28,18		Kt=	1,206		Ct=	0,097
X1d=	1.152,6		X1t=	1.135,3			
X2d=	1.372,6		X2t=	1.401,4			
X3d=	1.426,7		X3t=	1.373,8			
Xd/1000=	1,153		tdx=	30,32	=	t2a	
Xt/1000=	1,135		ttx=	28,12	=	t2a	
h/(rt)d=	1,872	=	Intermedio				
h/(rt)t=	1,833	=	Intermedio				
Rd=	1,498						
Rt=	1,466						
	e = mm		e = pulg				
t2=	34,05	=	1,340	=	34,05	tL	
CA=	1,588	=	0,063				
t2d=	35,634	=	1,403	=	1-7/16"	=	36,51
							t1
t2t=	34,45	=	1,356	=	1-7/16"	Se usa t2d	

Figura 6

Espesores para anillo anular de tanques según norma API 650

Table 5-1a—(SI) Annular Bottom-Plate Thicknesses (t_b)

Plate Thickness ^a of First Shell Course (mm)	Stress ^b in First Shell Course (MPa)			
	≤ 190	≤ 210	≤ 220	≤ 250
$t \leq 19$	6	6	7	9
$19 < t \leq 25$	6	7	10	11
$25 < t \leq 32$	6	9	12	14
$32 < t \leq 40$	8	11	14	17
$40 < t \leq 45$	9	13	16	19

^aPlate thickness refers to the corroded shell plate thickness for product design and nominal thickness for hydrostatic test design.

^bThe stress to be used is the maximum stress in the first shell course (greater of product or hydrostatic test stress). The stress may be determined using the required thickness divided by the thickness from “a” then multiplied by the applicable allowable stress:

Product Stress = $(t_d - CA / \text{corroded } t) (S_d)$

Hydrostatic Test Stress = $(t_t / \text{nominal } t) (S_t)$

Note: The thicknesses specified in the table, as well as the width specified in 5.5.2, are based on the foundation providing uniform support under the full width of the annular plate. Unless the foundation is properly compacted, particularly at the inside of a concrete ringwall, settlement will produce additional stresses in the annular plate.

Figura 7

Cálculos base de concreto tanques

DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL TANQUE OPCIÓN A			
1. ALCANCE			
1. Este calculo es valido para fundacion tipo anillo. 2. El calculo de los pernos de anclaje se genera únicamente en el caso Tanque Mecanicamente Anclado. Para tanques autosoportados no aplica diseño de pernos. 3. Los datos de diseño son los calculados para los tanques.			
2. CODIGOS DE DISEÑO			
Welded Steel Tanks For Oil Storage API STANDARD 650 Reglamento Colombiano de Construccion Sismo-Resistente NSR-10			
3. DATOS PARA EL DISEÑO (*)			
(*) Las celdas resaltadas en amarillo corresponden a los datos de entrada. Las otras celdas son calculos.			
3.1 Geometria del Tanque			
DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE:	D =	328,10 ft	D = 100,00 m
ALTURA DEL TANQUE:	H _T =	48,00 ft	H _T = 14,63 m
CAPACIDAD NOMINAL DEL TANQUE:	V _t =	600000 bls	V _t = 95392,54 m ³
ESPESOR PROMEDIO LAMINA PARED TANQUE:	ts =	1,000 in	ts = 2,54E-02 m
ESPESOR PROMEDIO LAMINA TECHO TANQUE:	tr =	0,500 in	tr = 1,27E-02 m
ESPESOR PROMEDIO LAMINA BASE TANQUE:	tap =	0,500 in	tap = 1,27E-02 m
ESPESOR ANULAR FONDO TANQUE BAJO LA PARED DEL TANQUE:	ta =	0,500 in	ta = 1,27E-02 m
Valor Estimado. Se usa para fines de calculo del peso de la pared del tanque Valor Estimado. Se usa para fines de calculo del peso del techo del tanque Valor Estimado. Se usa para fines de calculo del peso del fondo del tanque Valor Estimado. Se usa para fines de calculo de la fuerza resistente al volcamiento por el peso del			
3.2 Contenido del Tanque			
GRAVEDAD ESPECIFICA LIQUIDO EN OPERACION:	G =	1,02	
PESO ESPECIFICO DEL AGUA:	gw =	10,00 kN/m ³	
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA LIQUIDO EN OPERACION:	G _e =	1,00 API 650 E.2.2 Notations	
PESO ESPECIFICO DEL LIQUIDO EN OPERACION:	g _L =	10,15 kN/m ³	
NIVEL MÁXIMO DEL LIQUIDO EN OPERACION:	H =	15,00 m	
ALTURA CENTRO DE GRAVEDAD (CUERPO):	X _s =	7,32 m	
ALTURA CENTRO DE GRAVEDAD (LIQUIDO):	X _s =	7,50 m	
3.3 Materiales Lamina Tanque			
PESO UNITARIO LAMINA DE ACERO:	ga =	77,00 kN/m ³	
MODULO DE ELASTICIDAD MATERIAL DEL TANQUE:	Es =	200000 MPa	
MINIMO ESFUERZO DE FLUENCIA LAMINA FONDO DEL TANQUE:	F _{ys} =	250 MPa	
3.4 Cargas del Tanque			
PESO DEL FONDO DEL TANQUE:	W _f =	7681,16 kN	
PESO PARED DEL TANQUE:	W _s =	11237,29 kN	Incluye 25% adicional por plataforma
PESO DEL TECHO DEL TANQUE:	W _r =	7681,16 kN	
PESO TOTAL DEL TANQUE (Calculado)	W _{tc} =	26599,61 kN	
3.5 Concreto Anillo de Fundacion			
TIPO DE FUNDACION		ANILLO	
PESO UNITARIO DEL CONCRETO:	gc =	24 kN/m ³	
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CONCRETO:	f _c =	28 MPa	
MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO:	E _c =	24870 MPa	NSR-10 C.8.5
3.6 Acero de Refuerzo Anillo de Fundacion			
PESO UNITARIO DEL ACERO:	ga =	77,0 kN/m ³	
ESFUERZO DE FLUENCIA:	F _{yr} =	420,00 MPa	
MODULO DE ELASTICIDAD:	Es =	200000 MPa	
3.7 Parametros del Suelo			
PESO UNITARIO DEL SUELO:	gs =	18,0 kN/m ³	
ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO:	Ø =	30,00 °	
COEFICIENTE DE PRESIÓN DE TIERRAS (En reposo):	K ₀ =	0,50	
TIPO DE PERFIL DE SUELO:		C NSR-10 Tabla A.2.4.1	
CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO:	s _{adm} =	180,00 kN/m ²	
COEFICIENTE DE FRICCIÓN LAMINA DE FONDO-RELLENO BAJO TANQUE:	u =	0,30	Usado para calculo de estabilidad del tanque en la base del mismo

Cortante en la Base

CORTANTE DEBIDO A EFECTOS IMPULSIVOS V_i =	11102,64	kN	
CORTANTE DEBIDO A EFECTOS CONVECTIVOS V_c =	2028,00	kN	
CORTANTE TOTAL V =	11286,34	kN	API 650 E.6.1 (Se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados incluyendo efectos impulsivos y convectivos)

Momento en la Base

MOMENTO EN LA BASE PARA FUNDACION TIPO ANILLO M_{rw} =	66863	kN-m
MOMENTO EN LA BASE PARA FUNDACION TIPO LOSA M_s =	N/A	kN-m

6. FUERZAS RESISTENTES A LA ACCION SISMICA

FUERZA RESISTENTE AL VOLCAMIENTO DEBIDA AL CONTENIDO w_{a1} =	76,91	kN/m	API 650 E.6.2,1,1.1 (Se obtiene por unidad de longitud de pared del tanque)
PESO DE LA PARED Y EL TECHO DEL TANQUE ACTUANDO EN EL PERIMETRO DE LA PARED DEL TANQUE w_{t1} =	60,22	kN/m	
RELACION DE ANCLAJE ANILLO DE FUNDACION J_{rw} =	0,05		Tanque Autosoportado
RELACION DE ANCLAJE LOSA DE FUNDACION J_s =	N/A		

7. FUERZAS DE TRACCION Y COMPRESION POR EFECTO SISMICO

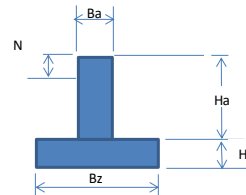
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE AUTOSOPORTADO, ANILLO EN CONCRETO sc =	69,74	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de anillo de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE AUTOSOPORTADO LOSA DE FUNDACION sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de losa de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO, ANILLO EN CONCRETO sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de anillo de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO LOSA DE FUNDACION sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de losa de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE TRACCION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO, ANILLO EN CONCRETO sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,1 (Se calcula para el caso de anillo de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE TRACCION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO LOSA DE FUNDACION sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,1 (Se calcula para el caso de losa de fundacion)

8. FUERZAS DE VIENTO

PRESION DE VELOCIDAD qz =	0,82	kN/m ²	NSR-10 B.6.5.10
b =	0,65		Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-10
a =	0,15		Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-10
VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO POR HORA A LA ALTURA H V_z =	21,02	m/s	NSR-10 B.6.5.8.2
l =	152,40		Factor de Escala de Longitud Integral Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR
e =	0,20		Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-10
LONGITUD INTEGRAL A ESCALA DE LA TURBULENCIA L_z =	148,48	m	NSR-10 B.6.5.8.1
C =	0,20		Factor de Intensidad de Turbulencia Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-1
INTENSIDAD DE TURBULENCIA I_z =	0,20		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR DE RESPUESTA DEL ENTORNO Q =	0,81		NSR-10 B.6.5.8.1
FRECUENCIA NATURAL w_1 =	0,01	Hz	Se calcula frecuencia para el mayor periodo entre caso impulsivo y caso convecti
FACTOR PICO PARA RESPUESTA DE RESONANCIA g_R =	2,92		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR PICO PARA RESPUESTA DEL ENTORNO g_Q =	3,40		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR PICO PARA RESPUESTA DE VIENTO g_V =	3,40		NSR-10 B.6.5.8.2
FRECUENCIA REDUCIDA N_1 =	0,08		NSR-10 B.6.5.8.2
R_{NL} =	0,22		
R_L =	0,79		Valor para calculo de R_L
R_{RH} =	0,63		
R_{H1} =	0,03		Valor para calculo de R_{H1}
R_{RB} =	0,98		
R_B =	0,24		Valor para calculo de R_B
FACTOR DE RESPUESTA DE RESONANCIA R =	0,86		
FACTOR DE RAFAGA G =	1,73		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR DE RAFAGA G =	1,27		
FUERZA DE VIENTO TRABAJO W_T =	1669,49	kN	NSR-10 B.6.5.15
MOMENTO POR VIENTO TRABAJO M_{WT} =	12212,63	Kn-m	
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL POR VIENTO W_c =	61,77	kN/m	
MAXIMO ESFUERZO DE TRACCION LONGITUDINAL POR VIENTO W_t =	-58,66	kN/m	Esfuerzo Negativo. No hay Traccion Neta

9. DISEÑO DE LA FUNDACION**Geometria:**

Anillo Ba =	0,54	m	PESO TOTAL DE LA FUNDACION W_{fd} =	10495,94	kN
Ha =	0,80	m	PESO RELLENO SOBRE FUNDACION W_g =	6837,07	kN
Zapat Bz =	2,40	m			
H_z =	0,40	m	PESO TOTAL FUNDACION + RELLENO W_T =	17333,01	kN
Terreno:					
N =	0,30	m	Nivel del Terreno por debajo del TOC del Anillo. Segun API 650 B.3.1 este valor debe ser mínimo 0,30m		

Altura Total Fundacion: H_T = 1,20 m

DISEÑO DE LA CIMENTACIÓN DEL TANQUE OPCIÓN B

1. ALCANCE

1. Este calculo es valido para fundacion tipo anillo.
2. El calculo de los pernos de anclaje se genera únicamente en el caso Tanque Mecanicamente Anclado. Para tanques autosoportados no aplica diseño de pernos.
3. Los datos de diseño son los calculados para los tanques.

2. CODIGOS DE DISEÑO

Welded Steel Tanks For Oil Storage API STANDARD 650 Twelfth Edition
Reglamento Colombiano de Construccion Sismo-Resistente NSR-10

3. DATOS PARA EL DISEÑO (*)

(*) Las celdas resaltadas en amarillo corresponden a los datos de entrada. Las otras celdas son calculos y no deben ser modificadas

3.1 Geometria del Tanque

DIÁMETRO NOMINAL DEL TANQUE:	D =	295,26 ft	D=	90,00 m	
ALTURA DEL TANQUE:	H _T =	55,12 ft	H _T =	16,80 m	
CAPACIDAD NOMINAL DEL TANQUE:	V _t =	600000 bls	V _t =	95392,54 m ³	
ESPESOR PROMEDIO LAMINA PARED TANQUE:	ts=	1,000 in	ts=	2,54E-02 m	Valor Estimado. Se usa para fines de calculo del peso de la pared del tanque
ESPESOR PROMEDIO LAMINA TECHO TANQUE:	tr =	0,500 in	tr=	1,27E-02 m	Valor Estimado. Se usa para fines de calculo del peso del techo del tanque
ESPESOR PROMEDIO LAMINA BASE TANQUE:	tap=	0,500 in	tap=	1,27E-02 m	Valor Estimado. Se usa para fines de calculo del peso del fondo del tanque
ESPESOR ANULAR FONDO TANQUE BAJO LA PARED DEL TANQUE:	ta=	0,688 in	ta=	1,75E-02 m	Valor Estimado. Se usa para fines de calculo de la fuerza resistente al volcamiento por el peso del

3.2 Contenido del Tanque

GRAVEDAD ESPECIFICA LIQUIDO EN OPERACION:	G=	1,02	
PESO ESPECIFICO DEL AGUA:	g _w =	10,00 kN/m ³	
GRAVEDAD ESPECIFICA EFECTIVA LIQUIDO EN OPERACION:	G _g =	1,00 API 650 E.2.2 Notations	
PESO ESPECIFICO DEL LIQUIDO EN OPERACION:	g _L =	10,15 kN/m ³	
NIVEL MÁXIMO DEL LIQUIDO EN OPERACION:	H=	15,00 m	
ALTURA CENTRO DE GRAVEDAD (CUERPO):	X _s =	8,40 m	
ALTURA CENTRO DE GRAVEDAD (LIQUIDO):	X _s =	7,50 m	

3.3 Materiales Lamina Tanque

PESO UNITARIO LAMINA DE ACERO:	g _a =	77,00 kN/m ³
MODULO DE ELASTICIDAD MATERIAL DEL TANQUE:	E _s =	200000 MPa
MINIMO ESFUERZO DE FLUENCIA LAMINA FONDO DEL TANQUE:	F _{ys} =	250 MPa

3.4 Cargas del Tanque

PESO DEL FONDO DEL TANQUE:	W _f =	6220,47 kN	
PESO PARED DEL TANQUE:	W _s =	11612,56 kN	Incluye 25% adicional por platafor
PESO DEL TECHO DEL TANQUE:	W _r =	6220,47 kN	
PESO TOTAL DEL TANQUE (Calculado)	W _{tc} =	24053,51 kN	

3.5 Concreto Anillo de Fundacion

TIPO DE FUNDACION		ANILLO	
PESO UNITARIO DEL CONCRETO:	g _c =	24 kN/m ³	
RESISTENCIA A COMPRESIÓN CONCRETO:	f _c =	28 MPa	
MODULO DE ELASTICIDAD DEL CONCRETO:	E _c =	24870 MPa	NSR-10 C.8.5

3.6 Acero de Refuerzo Anillo de Fundacion

PESO UNITARIO DEL ACERO:	g _a =	77,0 kN/m ³
ESFUERZO DE FLUENCIA:	F _{yR} =	420,00 MPa
MODULO DE ELASTICIDAD:	E _s =	200000 MPa

3.7 Parametros del Suelo

PESO UNITARIO DEL SUELO:	g _s =	18,0 kN/m ³	
ANGULO DE FRICCIÓN INTERNA DEL SUELO:	Ø=	30,00 °	
COEFICIENTE DE PRESIÓN DE TIERRAS (En reposo):	K ₀ =	0,50	
TIPO DE PERFIL DE SUELO:		C	NSR-10 Tabla A.2.4.1
CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO:	s _{adm} =	180,00 kN/m ²	
COEFICIENTE DE FRICCIÓN LAMINA DE FONDO-RELLENO BAJO TANQUE:	u=	0,30	Usado para calculo de estabilidad del tanque en la base del mismo

Cortante en la Base

CORTANTE DEBIDO A EFECTOS IMPULSIVOS V_i =	12022,52	kN	
CORTANTE DEBIDO A EFECTOS CONVECTIVOS V_c =	2403,67	kN	
CORTANTE TOTAL V =	12260,45	kN	API 650 E.6.1 (Se calcula como la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados incluyendo efectos impulsivos y convectivos)

Momento en la Base

MOMENTO EN LA BASE PARA FUNDACION TIPO ANILLO M_{rw} =	73815	kN-m
MOMENTO EN LA BASE PARA FUNDACION TIPO LOSA M_s =	N/A	kN-m

6. FUERZAS RESISTENTES A LA ACCION SISMICA

FUERZA RESISTENTE AL VOLCAMIENTO DEBIDA AL CONTENIDO w_a =	105,83	kN/m	API 650 E.6.2,1,1.1 (Se obtiene por unidad de longitud de pared del tanque)
PESO DE LA PARED Y EL TECHO DEL TANQUE ACTUANDO EN EL PERIMETRO DE LA PARED DEL TANQUE w_p =	63,07	kN/m	
RELACION DE ANCLAJE ANILLO DE FUNDACION J_{rw} =	0,05		Tanque Autosoportado
RELACION DE ANCLAJE LOSA DE FUNDACION J_s =	N/A		

7. FUERZAS DE TRACCION Y COMPRESION POR EFECTO SISMICO

MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE AUTOSOPORTADO, ANILLO EN CONCRETO sc =	75,74	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de anillo de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE AUTOSOPORTADO LOSA DE FUNDACION sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de losa de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO, ANILLO EN CONCRETO sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de anillo de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO LOSA DE FUNDACION sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,2 (Se calcula para el caso de losa de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE TRACCION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO, ANILLO EN CONCRETO sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,1 (Se calcula para el caso de anillo de fundacion)
MAXIMO ESFUERZO DE TRACCION LONGITUDINAL TANQUE ANCLADO LOSA DE FUNDACION sc =	N/A	kN/m	API 650 E.6.2,1 (Se calcula para el caso de losa de fundacion)

8. FUERZAS DE VIENTO

PRESION DE VELOCIDAD qz =	0,82	kN/m ²	NSR-10 B.6.5.10
b =	0,65		Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-10
z =	0,15		Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-10
VELOCIDAD DE VIENTO PROMEDIO POR HORA A LA ALTURA H V_z =	21,48	m/s	NSR-10 B.6.5.8.2
l =	152,40		Factor de Escala de Longitud Integral Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR
e =	0,20		Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-10
LONGITUD INTEGRAL A ESCALA DE LA TURBULENCIA L_z =	152,64	m	NSR-10 B.6.5.8.1
C =	0,20		Factor de Intensidad de Turbulencia Constante Listada en la Tabla B,6,5-2 NSR-1
INTENSIDAD DE TURBULENCIA I_z =	0,20		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR DE RESPUESTA DEL ENTORNO Q =	0,82		NSR-10 B.6.5.8.1
FRECUENCIA NATURAL w_1 =	0,01	Hz	Se calcula frecuencia para el mayor periodo entre caso impulsivo y caso convecti
FACTOR PICO PARA RESPUESTA DE RESONANCIA g_R =	2,95		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR PICO PARA RESPUESTA DEL ENTORNO g_Q =	3,40		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR PICO PARA RESPUESTA DE VIENTO g_V =	3,40		NSR-10 B.6.5.8.2
FRECUENCIA REDUCIDA N_1 =	0,08		NSR-10 B.6.5.8.2
R_N =	0,22		
W_{RL} =	0,77		Valor para calculo de R_L
R_L =	0,64		
W_{RH} =	0,04		Valor para calculo de R_H
R_H =	0,97		
W_{RB} =	0,23		Valor para calculo de R_B
R_B =	0,86		
FACTOR DE RESPUESTA DE RESONANCIA R =	1,76		NSR-10 B.6.5.8.2
FACTOR DE RAFAGA G =	1,29		
FUERZA DE VIENTO TRABAJO W_T =	1745,46	kN	NSR-10 B.6.5.15
MOMENTO POR VIENTO TRABAJO M_{WT} =	14662,37	Kn-m	
MAXIMO ESFUERZO DE COMPRESION LONGITUDINAL POR VIENTO W_c =	65,38	kN/m	
MAXIMO ESFUERZO DE TRACCION LONGITUDINAL POR VIENTO W_t =	-60,77	kN/m	Esfuerzo Negativo. No hay Traccion Neta

9. DISEÑO DE LA FUNDACION**Geometria:**

Anillo B_a =	0,60	m	PESO TOTAL DE LA FUNDACION W_{fd} =	9771,09	kN
H_a =	0,80	m	PESO RELLENO SOBRE FUNDACION W_g =	5954,26	kN
Zapat B_z =	2,40	m			
H_z =	0,40	m	PESO TOTAL FUNDACION + RELLENO W_T =	15725,35	kN
Terreno:					
N =	0,30	m	Nivel del Terreno por debajo del TOC del Anillo. Segun API 650 B.3.1 este valor debe ser mínimo 0,30m		

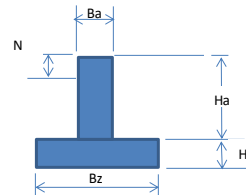
Altura Total Fundacion: H_T = 1,20 m

Figura 8

Costos de construcción tanques

CUADRO DE COSTOS PARA LA CONSTRUCCIÓN DE DOS TANQUES CON CAPACIDAD UNITARIA DE 600 Kóóts EN TERMINAL SAN BERNARDO					
ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD (2 TKS)	VR UNITARIO (COP)	VALOR TOTAL (COP)
1	ACTIVIDADES PRELIMINARES				
1.1	INGENIERÍA				
1.1.1	Elaborar la ingeniería de taller para construcción de tanque.	GB	1	\$ 580.000.000	\$ 580.000.000
1.2	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN				
1.2.1	Movilización.	GB	1	\$ 230.000.000	\$ 230.000.000
1.2.2	Desmovilización.	GB	1	\$ 230.000.000	\$ 230.000.000
2	OBRA CIVIL				
2.1	PRELIMINARES				
2.1.1	Localización y replanteo.	m2	30.000	\$ 6.000	\$ 180.000.000
2.1.2	Comisión de topografía.	mes	18	\$ 18.500.000	\$ 333.000.000
2.2	EXCAVACIONES				
2.2.1	Excavación mecánica.	m3	23.000	\$ 27.500	\$ 632.500.000
2.3	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y PRUEBAS DE RELLENOS				
2.3.1	Relleno de Arena para fondo de los tanques.	m3	5.000	\$ 164.000	\$ 820.000.000
2.3.2	Relleno para ductos de detección de fugas y Protección catódica.	m3	200	\$ 225.000	\$ 45.000.000
2.3.3	Relleno para fundaciones tanques.	m3	23.000	\$ 205.000	\$ 4.715.000.000
2.4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE GEOSINTÉTICOS				
2.4.1	Geomembrana HDPE- 40 mils. Incluye Polylock.	m2	13.000	\$ 36.000	\$ 468.000.000
2.4.2	Geotextil no tejido NT-2000.	m2	3.000	\$ 15.500	\$ 46.500.000
2.5	SUMINISTRO, FIGURADO E INSTALACIÓN DE ACERO				
2.5.1	Barras de acero corrugadas fy =420 MPa (60.000 psi).	Kg	216.000	\$ 9.000	\$ 1.944.000.000
2.6	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE CONCRETOS				
2.6.1	Suministro e instalación concreto de limpieza f'c=10,5 Mpa (1500 psi).	m3	68	\$ 1.100.000	\$ 74.800.000
2.6.2	Suministro e instalación concreto f'c= 28 MPa (4000 psi). Fundación anillo del tanque.	m3	814	\$ 1.850.000	\$ 1.505.900.000
3	OBRA MECÁNICA DE TANQUES				
3.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ANILLO ANULAR DEL FONDO				
3.1.1	Suministro, prefabricación, montaje y soldadura a tope de láminas 8' x 40'. Espesor 17,5 mm (11/16").	Kg	75.000	\$ 7.900	\$ 592.500.000
3.2	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL FONDO				
3.2.1	Suministro, prefabricación, montaje y soldadura en filete de láminas 8' x 40'. Espesor 9,5 mm (3/8").	Kg	917.000	\$ 6.900	\$ 6.327.300.000
3.2.2	Soldadura en filete entre anillo anular y láminas del fondo.	m	556	\$ 280.000	\$ 155.680.000
3.3	Sistema para detección de fugas en fondo del tanque.				
3.3.1	Suministro, prefabricación, montaje, soldadura, pintura y pruebas de sistema para detección de fugas en fondo del tanque.	GB	2	\$ 180.000.000	\$ 360.000.000
3.4	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL CUERPO				
3.4.1	Suministro, rolado, montaje y soldadura vertical de láminas 8' x 40' para anillos.				
3.4.1.1	Primer anillo. Espesor lámina 1-1/2".	Kg	408.000	\$ 9.200	\$ 3.753.600.000
3.4.1.2	Segundo anillo. Espesor lámina 1-7/16".	Kg	390.000	\$ 9.200	\$ 3.588.000.000
3.4.1.3	Tercer anillo. Espesor lámina 1-5/16".	Kg	356.000	\$ 9.200	\$ 3.275.200.000
3.4.1.4	Cuarto anillo. Espesor lámina 1-1/8".	Kg	306.000	\$ 9.200	\$ 2.815.200.000
3.4.1.5	Quinto anillo. Espesor lámina 13/16".	Kg	220.000	\$ 9.300	\$ 2.046.000.000
3.4.1.6	Sexto anillo. Espesor lámina 7/16".	Kg	119.000	\$ 9.400	\$ 1.118.600.000
3.4.1.7	Séptimo anillo. Espesor lámina 3/8".	Kg	102.000	\$ 9.400	\$ 958.800.000
3.4.2	Soldadura a tope, horizontales entre láminas de anillos.				
3.4.2.1	Primer anillo del cuerpo. Espesor lámina 1-1/2".	m	1.140	\$ 830.000	\$ 946.200.000
3.4.2.2	Segundo anillo del cuerpo. Espesor lámina 1-7/16".	m	1.140	\$ 806.000	\$ 918.840.000
3.4.2.3	Tercer anillo del cuerpo. Espesor lámina 1-5/16".	m	1.140	\$ 790.000	\$ 900.600.000
3.4.2.4	Cuarto anillo del cuerpo. Espesor lámina 1-3/8".	m	1.140	\$ 750.000	\$ 855.000.000
3.4.2.5	Quinto anillo del cuerpo. Espesor lámina 13/16".	m	1.140	\$ 710.000	\$ 809.400.000
3.4.2.6	Sexto anillo del cuerpo. Espesor lámina 7/16".	m	1.140	\$ 670.000	\$ 763.800.000
3.4.3	Soldadura automática a filete entre anillo anular del fondo y primer anillo del tanque.				
3.4.3.1	Espesor lámina 1-1/2".	m	1.150	\$ 410.000	\$ 471.500.000
3.5	DISEÑO, SUMINISTRO E INSTALACIÓN DEL TECHO				
3.5.1	Diseño, suministro, ensamble, montaje y pruebas de techo flotante externo. Incluye sello interno y externo.	Kg	1.494.000	\$ 13.400	\$ 20.019.600.000
3.6	SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y SOLDADURA DE ESCALERA DE ACCESO				
3.6.1	Diseño, suministro, prefabricación, montaje, soldadura y pintura de escalera en espiral para acceso al tanque.	Kg	12.000	\$ 16.800	\$ 201.600.000
3.7	LIMPIEZA Y RECUBRIMIENTO DE SUPERFICIES TANQUE				
3.7.1	Limpieza con granalla de acero a grado de limpieza SSPC-SP5, protección anti-corrosión y pintura de superficies exteriores del tanque.	m2	30.400,00	\$ 170.000	\$ 5.168.000.000
3.7.2	Limpieza con granalla de acero a grado de limpieza SSPC-SP5, protección anti-corrosión y pintura de superficies interiores del tanque.	m2	27.400,00	\$ 180.000	\$ 4.932.000.000
3.8	OTRAS ACTIVIDADES				
3.8.1	Prueba hidrostática de tanque	un	2	\$ 120.000.000	\$ 240.000.000
3.8.2	Aforo de tanque	un	2	\$ 42.000.000	\$ 84.000.000
4.	LIMPIEZA FINAL				
4.1	Limpieza final de escombros y residuos de construcción desde recintos a sitios de acopio.	GB	1	\$ 89.000.000	\$ 89.000.000
	TOTAL COSTO (incluido IVA sobre la utilidad)				\$ 73.195.120.000

Figura 9*Cálculo de VPN, TIR y RBC del proyecto***FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO**

Período	Flujo de Caja Inversión	Flujo de Caja Operaciones	Flujo de Caja del Proyecto
0	(\$ 73.195.120.000)		(\$ 73.195.120.000)
1		\$ 13.305.600.000	\$ 13.305.600.000
2		\$ 13.817.865.600	\$ 13.817.865.600
3		\$ 14.349.853.426	\$ 14.349.853.426
4		\$ 14.902.322.782	\$ 14.902.322.782
5		\$ 15.476.062.210	\$ 15.476.062.210
6		\$ 16.071.890.605	\$ 16.071.890.605
7		\$ 16.690.658.393	\$ 16.690.658.393
8		\$ 17.333.248.741	\$ 17.333.248.741
9		\$ 18.000.578.818	\$ 18.000.578.818
10		\$ 18.693.601.102	\$ 18.693.601.102

Tasa Interna de Oportunidad - TIO	10,00%
Valor Presente Neto - VPN=	\$ 21.454.158.538
Tasa Interna de Retorno - TIR=	16,03%
Tasa Mínima de Rendimiento=	10,00%

FLUJO DE CAJA DEL PROYECTO

Período	Flujo de Caja Inversión	Flujo de Caja Operaciones
0	(\$ 73.195.120.000)	
1	\$ 0	\$ 13.305.600.000
2	\$ 0	\$ 13.817.865.600
3	\$ 0	\$ 14.349.853.426
4	\$ 0	\$ 14.902.322.782
5	\$ 0	\$ 15.476.062.210
6	\$ 0	\$ 16.071.890.605
7	\$ 0	\$ 16.690.658.393
8	\$ 0	\$ 17.333.248.741
9	\$ 0	\$ 18.000.578.818
10	\$ 0	\$ 18.693.601.102

VPI ingresos	\$94.649.278.538,13
VPE egresos	\$0,00
VPN egresos + período 0	(\$ 73.195.120.000)
Convertirlo a positivo (*-1)	\$ 73.195.120.000

RBC	1,29
------------	-------------

TIO

10,00%

$$RBC = \frac{\sum VPI}{\sum VPE}$$